



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Resumen: LM-PI-UMP-R-001-19

AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2019

San José, Costa Rica
Junio, 2018

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 66 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Preparado y recopilado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-LanammeUCR jose.aguiar@ucr.ac.cr



Información técnica del documento

1. Resumen LM-PI-UMP-R-001-19		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2019		4. Fecha del Informe Junio, 2019
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 <i>El presente informe resume los proyectos de investigación que se están desarrollando en este momento por parte del LanammeUCR, a través de su Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), en cumplimiento con lo establecido en la Ley N° 8114. Adicionalmente, se presenta a manera resumida, el avance de cada uno de los proyectos mencionados.</i> <i>Todo lo anterior según lo establecido por Decreto No. 37016 - MOPT.</i>		
10. Palabras clave Proyectos de Investigación, Materiales y Pavimentos, Seguridad Vial, Gestión de Infraestructura, Sostenibilidad, LanammeUCR	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 118
13. Preparado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos <hr/> Fecha: 19 / 06 / 19	Ing. Diana Jiménez Romero, MSc Coordinadora Unidad de Seguridad Vial y Transportes <hr/> Fecha: 19 / 06 / 19	Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica <hr/> Fecha: 19 / 06 / 19
Gianluca Corazzari Herrera Asistente Investigación Unidad de Materiales y Pavimentos <hr/> Fecha: 19 / 06 / 19	14. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA <hr/> Fecha: 19 / 06 / 19	



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. MATERIALES ASFÁLTICOS	8
2.1. Daño por humedad en mezclas asfálticas	8
2.2. Determinación de la energía de fractura en mortero asfáltico	10
2.3. Efecto de la adhesión de sobrecapas en la resistencia a fatiga de la carpeta asfáltica	13
2.4. Experimento con material adhesivo bituminoso para captaluces y desempeño de captaluces	15
3. MATERIALES GRANULARES Y SUELOS	19
3.1. Diseño de bases estabilizadas con cemento	19
3.2. Características mecánicas de suelos en condiciones de humedad variable	20
3.3. Desarrollo de un protocolo de ensayo para estimación de fatiga en una base estabilizada con cemento	21
4. CIENCIA DE MATERIALES	23
4.1. Oxidación de asfalto	23
4.2. Estudio fisicoquímico de la oxidación y su incidencia en el daño por humedad de asfaltos	27
4.3. Análisis físico-químico de adhesión asfalto-agregado en Costa Rica	29
4.4. Determinación del contenido de polímero tipo SBR, SBS y EVA mediante la técnica de Infrarrojo con transformada de Fourier.	31
4.5. Determinación de propiedades micromecánicas mediante microscopia de fuerza atómica en asfaltos.	32
5. SOSTENIBILIDAD	34
5.1. Análisis del Ciclo de Vida (ACV) completo en proyectos de infraestructura vial	34



5.2. Enfoque de Sostenibilidad y Resiliencia en Ruta Nacional N°606, Sección: Guacimal- Santa Elena _____	34
5.3. Investigación en temas varios: Declaración Ambiental de Producto (EPD, por sus siglas en inglés), y el Tren de Carretera (conocido como Platooning) _____	36
6. GEOSINTÉTICOS _____	37
6.1. Evaluación del cambio por temperatura en las propiedades mecánicas y químicas de los geotextiles durante la colocación de sobrecapas asfálticas _____	37
6.2. Análisis del desempeño de geosintéticos como sistemas de intercapa en pavimentos flexibles _____	39
7. DESEMPEÑO DE PAVIMENTOS _____	42
7.1. Desarrollo de un modelo para predecir la regularidad superficial de una carretera considerando actividades de rehabilitación _____	42
7.2. Uso de sensores ultrasónicos en la medición de desplazamiento lateral vehicular _____	44
7.3. Parámetros de tránsito para diseño de pavimentos en la Red Vial Nacional Primaria de Costa Rica _____	45
8. PAVIMENTOS RÍGIDOS _____	49
8.1. Línea de Investigación en Concreto Hidráulico _____	49
9. ENSAYOS A ESCALA NATURAL _____	52
9.1. Evaluación del cambio en la rigidez de las capas del pavimento utilizando un modelo multiescala de elementos finitos y datos APT _____	52
9.2. Modelos de desempeño para mezclas asfálticas _____	54
9.3. Ensayos acelerados de carga sobre pistas a escala natural de pavimento. _____	59
9.4. Evaluación del desempeño de pavimentos asfálticos en el largo plazo _____	61
9.5. Desempeño de la demarcación vial horizontal en Costa Rica _____	66
10. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS _____	69



10.1. Herramienta para diseño Mecánico-Empírico de pavimentos flexibles CR-ME V2 _____	69
10.2. Herramienta retrocálculo y diseño de sobrecapas en pavimentos. PITRA-BACK V2 _____	72
10.3. Herramienta para cálculo de respuestas en pavimento flexible PITRA-PAVE V2 _____	75
10.4. Herramienta para el cálculo de curvas maestras de módulo dinámico IMODIN V2. _____	76
10.5. Herramienta para creación de bases de datos artificiales a partir de PITRA-PAVE. _____	78
10.6. Herramienta para unir y limpiar bases de datos de lecturas de Strain Gauge. _____	79
10.7. Herramienta para importación de bases de datos a formato F25. DBtoF25 _____	80
10.8. Modelación de carga con el método de elementos finitos (FEM) _____	82
10.9. Herramienta de cálculo para el diseño de sistemas de contención vehicular _____	84
11. INGENIERÍA DEL TRANSPORTE Y SEGURIDAD VIAL _____	86
11.1. Diagnóstico sobre movilidad ciclista en la Ruta Nacional 21 entre la ciudad de Liberia y la Sede Regional de la Universidad en Costa Rica _____	86
11.2. Diagnóstico sobre transporte público _____	87
11.3. Entorno urbano y movilidad activa _____	89
11.4. Elaboración de una guía de mantenimiento en campo para sistemas de contención vehicular de uso en Costa Rica _____	90
11.5. Propuesta de criterios para la regulación del uso e instalación de vallas digitales en la red vial de Costa Rica _____	92
11.6. Análisis de programas de microsimulación _____	94
11.7. Comprobación de mediciones de flujos vehiculares, ciclistas y peatonales mediante equipos de medición automática _____	95
11.8. Diagnóstico de la utilización de puentes peatonales en la GAM, Costa Rica _____	96
11.9. Uso del sistema de posicionamiento global (GPS) para determinar la confiabilidad en los tiempos de viaje del sistema de transporte público externo de la UCR _____	97



11.10. Revisión de modelos para determinar la densidad de flujos vehiculares utilizando contadores vehiculares y vehículos aéreos no tripulados	99
11.11. Externalidades ambientales, en seguridad vial y en infraestructura del transporte de carga ferroviaria en la zona atlántica costarricense	100
11.12. Análisis de la movilidad peatonal y caracterización de peatones en Guadalupe	101
11.13. Tratamientos preferenciales para el transporte público en autobús y su aplicación en intersecciones de la Gran Área Metropolitana.	103
11.14. Análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales: Caso de estudio de la sede central del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.	104
11.15. Análisis de capacidad de bahías de autobuses en autopistas de la Gran Área Metropolitana.	106
11.16. Elementos que inciden en los tiempos de abordaje en rutas urbanas de transporte público colectivo, modalidad autobús, en la Gran Área Metropolitana	107
11.17. Metodología para evaluación de aceras como parte de la gestión de activos urbanos en Costa Rica.	109
11.18. Encuesta de Transporte. Sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica	110
11.19. Mapas de accidentes de los distritos centrales del cantón de Heredia	113
11.20. Evaluación de movilidad en diferentes vías del cantón de Curridabat a partir de intervenciones de urbanismo táctico	114
11.21. Evaluación de efectividad de las medidas de movilidad segura y pacificación vial del proyecto de renovación del casco central de Curridabat	115
11.22. Modelo de demanda de transporte urbano de la GAM en plataforma TransCAD	116



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento pretende resumir las actividades de investigación en las que ha estado trabajando desde el Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). Dicho resumen busca brindar una guía general sobre los temas y actividades que se están realizando, así como un resumen del estado de avance de los proyectos al finalizar el segundo semestre del 2019. El informe no pretende presentar el detalle de cada uno de los proyectos o actividades, pero si dar un panorama general de la investigación que se está desarrollando en el LanammeUCR en atención al Inciso g) de la Ley 8114.

Las líneas de investigación existentes concuerdan con el plan de investigación quinquenal definido por el PITRA según necesidades identificadas en el Sector, mediante encuestas de capacitación e investigación que se realizan anualmente, así como según solicitudes de la Administración.

A continuación, se presentan los proyectos de investigación que se están realizando según su área:



2. MATERIALES ASFÁLTICOS

2.1. Daño por humedad en mezclas asfálticas

Objetivo: Desarrollar una metodología de laboratorio para cuantificar la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas para las condiciones propias de Costa Rica.

El proyecto de daño por humedad consiste en la evaluación de mezclas asfálticas representativas de las condiciones típicas de Costa Rica. La cuantificación de daño producto de este deterioro es analizado a través de ensayos de desempeño a escala de laboratorio dispuestos en dos etapas, de acuerdo con el alcance definido en el informe LM-PI-UMP-R-001-16.

El estudio comprende del análisis de mezclas conformadas por tres fuentes de agregados, para cada fuente se analizan seis variaciones del cemento asfáltico (asfalto control y modificado con 2% de SBS, 0.5% de ADL, 1% de cal, 2% de SBS más 0.5% ADL y 2% de SBS más 1% de cal) y dos tamaños máximo nominal de agregado (9.5 y 12.5 mm). El avance del proyecto se resume en la siguiente Tabla.

Tabla 2. 1. Avance del esquema experimental del proyecto de daño por humedad

	Diseños de mezcla	Etapa I			Etapa II	
		MD AASHTO TP79	RRTD AASHTO T283	FN AASHTO TP79	VF AASHTO T321	RH AASHTO T324
Fuente 1	√	√	√	√	√	√
Fuente 2	√	√	√	√	√	√
Fuente 3	√	√	√	√	√	√
Cantidad de ensayos completados	36	144	144	144	24	12

Donde, **MD:** Módulo Dinámico, **RRTD:** Resistencia Retenida a la Tensión Diametral, **FN:** Flow Number, **VF:** Viga a Flexotracción, **RH:** Rueda de Hamburgo.

Los ensayos de desempeño de la primera etapa se realizan tanto en especímenes en condición seca, como en especímenes sometidos a 1, 3 y 6 ciclos de acondicionamiento. Cada ciclo consiste en someter al espécimen a 16 horas a -18 °C y posteriormente 24 horas a 60 °C.

La Figura que se adjunta a continuación presenta un resumen global de los resultados obtenidos tras la conclusión de la Etapa I. El gráfico muestra la relación entre los especímenes acondicionados respecto a los especímenes secos para cada uno de los ensayos.

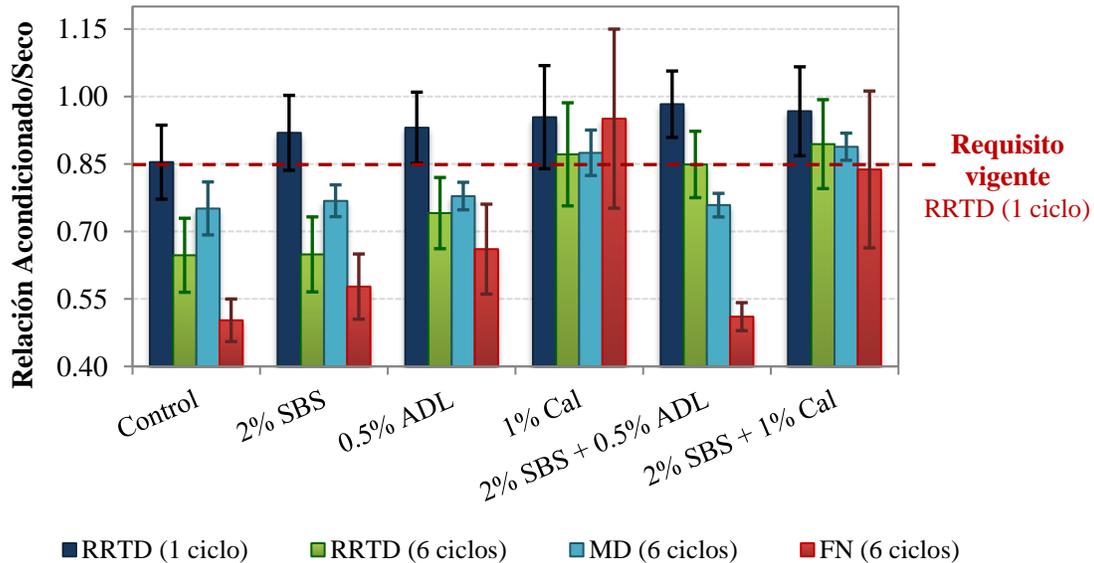


Figura 2. 1. Resumen de resultados de la Etapa I

El Manual de Especificaciones CR-2010 define en la Sección 402 los criterios de aceptación de resistencia al daño por humedad en mezclas asfálticas. El requerimiento más riguroso para mezclas de alto desempeño especifica un valor mínimo de 85% en el parámetro de Resistencia Retenida sin efectuar período de congelamiento. Del análisis global de los resultados se revela que el promedio general de mezclas cumple con dicho requisito inclusive efectuando el periodo de congelamiento (RRTD 1 ciclo), no obstante, los otros ensayos (RRTD, MD y FN a 6 ciclos) revelan una alta susceptibilidad al daño por humedad de algunas de estas mezclas.

De acuerdo con lo anterior, uno de los principales hallazgos del proyecto consisten en la justificación técnica de que el parámetro actualmente definido como criterio de aceptación ante el daño por humedad no logra discriminar entre mezclas susceptibles o no al daño por humedad, lo cual se refleja en la realidad de los pavimentos en Costa Rica. Por otro lado, es posible identificar las bondades de las técnicas de mejoramiento del desempeño de mezclas asfálticas a través del uso de modificantes. El mejor desempeño global se obtuvo para las mezclas que contienen cal.

En términos generales, la metodología de evaluación de daño por humedad se encuentra claramente definida, alcanzando el cumplimiento del objetivo primordial del proyecto tras la ejecución de aproximadamente 480 ensayos de laboratorio. Asimismo, los resultados servirán de insumo para la



generación de una nueva propuesta de especificación de mezclas asfálticas ante la susceptibilidad al daño por humedad, así como el impulso de nuevas tecnologías para la producción de mezclas asfálticas modificadas con mejor desempeño.

2.2. Determinación de la energía de fractura en mortero asfáltico

Objetivo: En vista de la variabilidad que generalmente presentan los ensayos de fatiga, analizar la influencia de la energía de fractura del mortero asfáltico en el agrietamiento por fatiga de los pavimentos flexibles.

Con este proyecto se estableció una relación entre la energía de fractura, el grado de envejecimiento y la fatiga, en muestras de mortero y mezcla asfáltica. Además, se obtuvo información del análisis de la propagación de grietas en pavimentos.

El proyecto se dividió en tres fases principales:

- En la primera fase se definieron los ensayos de energía de fractura a implementar: ensayo de flexión en probeta semicircular y ensayo de sobrecapa. En la Tabla 2. 2 se resumen los ensayos realizados (para cada uno se utilizaron 3 especímenes).
- En la segunda fase se realizó el diseño y la compactación de las muestras de mortero y de mezcla asfáltica. Para la elaboración de los especímenes, se utilizó asfalto con un grado de desempeño PG 64-22 (AC-30) y los agregados fueron extraídos de Guápiles.
- En la fase tres se ejecutaron los ensayos de semicircular y sobrecapa, definidos en la primera fase.

Tabla 2. 2. Resumen de ensayos realizados

		Original			Envejecido 3 días			Envejecido 5 días			Envejecido 7 días		
Condición de carga	Estático	S-M	S-F	O	S-M	S-F	O	S-M	S-F	X	S-M	S-F	O
	10 ciclos	S-M	S-F	X	S-M	S-F	X	S-M	S-F	X	S-M	S-F	X
	100 ciclos	S-M	S-F	O	S-M	S-F	O	S-M	S-F	X	S-M	S-F	O
	1000 ciclos	S-M	S-F	O	S-M	S-F	O	S-M	S-F	X	S-M	S-F	O

Donde, **S-M**: Ensayo semicircular de mezcla asfáltica, **S-F**: Ensayo semicircular de mortero asfáltico, **O**: Ensayo de sobrecapas.

El proceso de fractura de una de las muestras ensayadas se presenta en la Figura 2. 2. Inicialmente, se comienzan a generar en el material pequeñas microgrietas que son casi imperceptibles, estas comienzan a crecer hasta que se interconectan e inicia la grieta, una vez que sucede esto, el espécimen falla rápidamente.

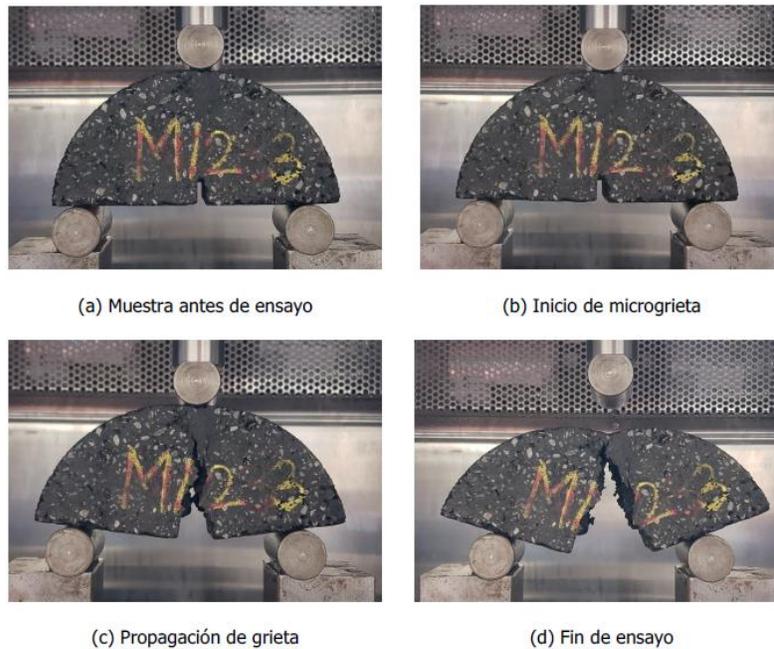


Figura 2. 2. Proceso de fractura en ensayo semicircular; a) muestra sin fallar, b) aparición de microgrietas, c) propagación de la grieta, c) falla completa del espécimen

Con los resultados del ensayo de flexión semicircular se elaboraron curvas de fuerza en función del desplazamiento del dispositivo de carga. El área bajo dicha curva corresponde a la energía de fractura del material. En la Figura 2. 3 se observa uno de los gráficos obtenidos en la investigación.

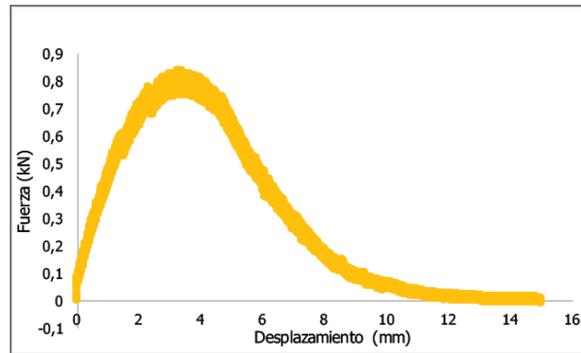


Figura 2. 3. Curva de fuerza contra desplazamiento en el ensayo semicircular

A partir de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, se realizaron pruebas estadísticas para determinar el efecto del envejecimiento y la fatiga sobre la energía de fractura del mortero y la mezcla asfáltica. Parte de los resultados se muestran en la Figura 2. 4. El gráfico muestra que el efecto sobre el mortero asfáltico es mayor que el efecto sobre la mezcla asfáltica, lo cual es esperable, además se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias obtenidas para el mortero asfáltico, mientras que, para la mezcla asfáltica, las medias no son estadísticamente significativas.

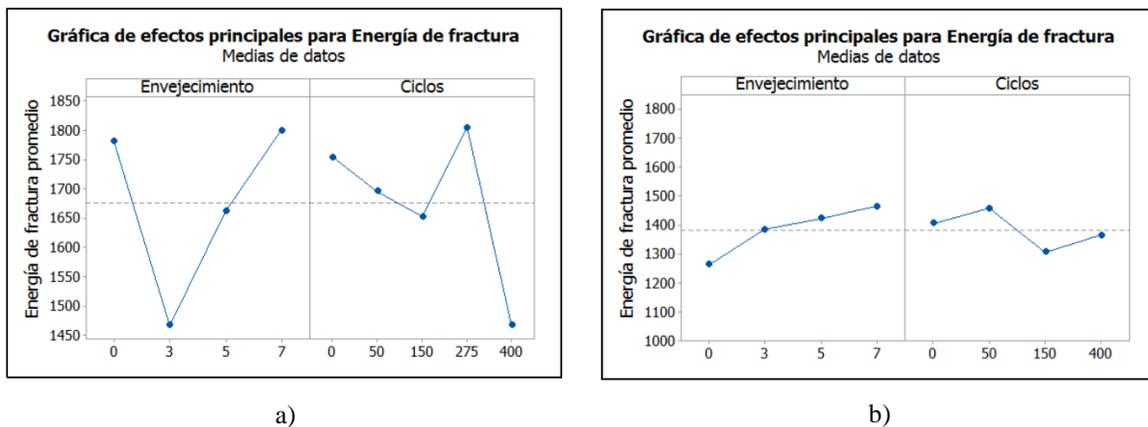


Figura 2. 4. Efecto del grado de envejecimiento y la fatiga sobre la energía de fractura; a) mortero asfáltico, b) mezcla asfáltica

A pesar de los resultados obtenidos, se recomienda con este estudio realizar los ensayos con un mayor número de réplicas, para determinar específicamente la tendencia de la energía de fractura con respecto al envejecimiento y la fatiga.



2.3. Efecto de la adhesión de sobrecapas en la resistencia a fatiga de la carpeta asfáltica

Objetivo: Analizar el efecto en la resistencia a fatiga que resulta por la pérdida de adherencia en la interfaz de sobrecapas asfálticas al simular diferentes escenarios de intervención mediante el ensayo de flexión en vigas de mezcla asfáltica.

La investigación pretende establecer una metodología de cuantificación del desempeño a fatiga por la pérdida de adherencia en la interfaz de sobrecapas asfálticas a través de la simulación de prácticas constructivas en el proceso de aplicación de riego de liga. Lo anterior de modo se pueda establecer una relación o influencia de estas prácticas con la reducción de la vida a fatiga de estas estructuras de pavimentos dependiendo del escenario o variable contemplado

Dentro del alcance de la investigación se busca determinar el desempeño a fatiga en sobrecapas asfálticas por la pérdida de adherencia en la interfaz mediante el ensayo a flexión de vigas de mezcla asfáltica ante la aplicación de cargas dinámicas.

La investigación contempla tres escenarios de intervención de sobrecapas sobre distintas superficies de rudo (capa nueva, capa existente, capa existente perfilada) y adheridas mediante dos tipos de emulsión CRS-1 y la CSS-1h. Adicionalmente cada uno de los escenarios contempla la simulación de prácticas constructivas de riego de liga en el proceso constructivo de sobrecapas asfálticas tales como la aplicación de riego de liga con cobertura total y uniforme, cobertura del 50% del área a adherir, ausencia de riego de liga, aplicación de riego de liga sobre superficies con polvo y humedad.

Se confeccionarán un total de 3 vigas de mezcla asfáltica para replicar cada uno de los escenarios y condiciones anteriormente descritas, las mismas serán ensayadas mediante el ensayo de fatiga de flexión.

En el siguiente esquema se brinda el detalle de la cantidad de ensayos contemplados en la investigación por desarrollar:

Informe LM-PI-UMP-R-001-19	Fecha de emisión: Junio 2019	Página 13 de 118
----------------------------	------------------------------	------------------

Escenarios	Capa asfáltica sobre capa asfáltica existente oxidada	Capa asfáltica sobre capa asfáltica existente oxidada	Capa asfáltica sobre capa asfáltica existente oxidada y perfilada
Riego de liga con cobertura uniforme	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h
Riego de liga con cobertura 50% área	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h
Riego de liga sin cobertura	(1 bloque) 3 vigas	1 bloque 3 vigas	1 bloque 3 vigas
Riego de ligasobre superficie con polvo (2 bloques)	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-2 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h
Riego de liga sobre superficie con humedad	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-21 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h	(2 bloques) 3 Vigas Emulsión CRS-1 3 Vigas Emulsión CSS-1h

Figura 2. 5. Metodología de investigación empleada

La investigación por desarrollar contempla la determinación porcentual de la reducción de la vida a fatiga de las diferentes condiciones planteadas a partir de la condición idónea del riego de liga, la cual corresponde a la tasa de dosificación óptima según tipo emulsión con cobertura total y uniforme. Además, se plantea la realización de un modelo de estimación de fatiga debido a la pérdida de adherencia a partir de variables del proceso de aplicación de riego de liga.

Los resultados de los ensayos por desarrollar permitirán generar un respaldo técnico basado en el desempeño de ensayos de laboratorio, para contribuir al fortalecimiento de la especificación 414 Riego de liga del CR 2010. Además, se busca continuar con la línea de investigación de emulsiones asfálticas para que se considere la implementación de otros tipos de emulsiones asfálticas en el país que ayuden a mejorar la adherencia y procesos constructivos.



2.4. Experimento con material adhesivo bituminoso para captaluces y desempeño de captaluces

Objetivo 1: Evaluar el desempeño del material adhesivo bituminoso para captaluces sometido a ciclos de precalentamiento, pasadas, posición de impacto y condiciones de temperatura superiores a 40°C con la cámara térmica del HVS.

Objetivo 2: Evaluar el desempeño de la retrorreflectividad de los captaluces después de sometidos a pasadas y condiciones de temperatura superiores a 40°C con la cámara térmica del HVS.

Debido a que el captaluz es un elemento de la demarcación vial de gran importancia sobretodo en condiciones adversas del clima, asegurarse de la existencia de este elemento en la vía mejora la seguridad vial. Con frecuencia se observan captaluces desprendidos debido a la falla del adhesivo utilizado. La inversión en captaluces que se realiza por kilómetro supera el millón de colones. Por lo que, se hace transcendental que se proteja la inversión, de esta manera surge este proyecto.

Para desarrollar el objetivo 1 se utilizaron dos marcas diferentes de material adhesivo bituminoso los cuales se sometieron a diferentes pretratamientos, estos se llevaron a cabo mediante condiciones controladas. Es importante mencionar que el torque se empleó como la medición escogida para cuantificar el desempeño.

Se tomaron 3 submuestras de material bituminoso adhesivo para captaluces de las dos marcas (A y B) y se aplicaron los siguientes pretratamientos (ciclos de calentamiento):

- 3 ciclos: Submuestras 1 de la marca A y B; se calentó el bituminoso a 200°C, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente. Una vez frío se repitió el proceso de calentamiento hasta 200°C y se volvió a enfriar a temperatura ambiente.
- 0 ciclos: Submuestras 2 de la marca A y B; se calentó el bituminoso a 255°C, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- 1 ciclo: Submuestras 3 de la marca A y B, no se le realizó ningún pretratamiento térmico, es decir se calentó una única vez para instalar el captaluz.

Para aplicar se calentaron las 6 submuestras anteriormente mencionadas a 200°C y se procedió a colocar los captaluces con el orden especificado en el siguiente diagrama.

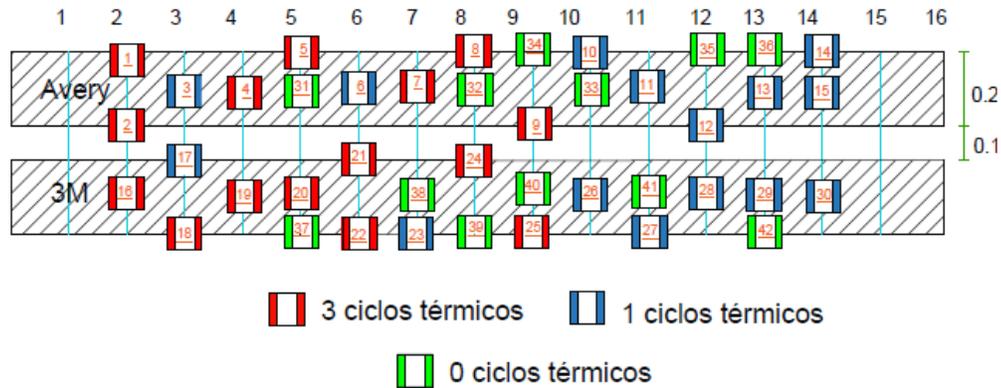


Figura 2. 6. Diagrama metodológico para la colocación de captaluces en la pista del HVS, según pretratamiento del bituminoso

Donde los captaluces de color rojo en el diagrama de la Figura 2. 6 corresponden a un bituminoso con un pretratamiento de 3 ciclos térmicos, es decir equivalentes a las submuestras 1. Los captaluces de color verde corresponden a la posición de las submuestras 2 y los de color azul corresponden a la posición de la submuestra 3 respectivamente en la pista de ensayo del HVS. La posición de cada captaluz se define con el propósito de que la llanta aplique la carga ya sea por el centro del captaluz o por el lado.

Además, se colocaron en una posición específica para recibir el impacto de la llanta en dos posiciones: central (carga vertical) y lateral (torque).

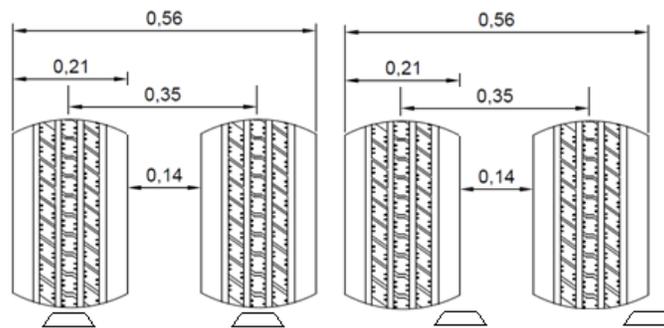


Figura 2. 7. Diferencias entre impactos de la llanta con el captaluz: derecha impacto central e izquierda impacto lateral (Imagen elaborada por el Ing. Edgar Camacho Garita, 2018)

Donde los captaluces de color rojo en el diagrama de la Figura 2. 7 corresponden a un bituminoso con un pretratamiento de 3 ciclos térmicos, es decir equivalentes a las submuestras 1. Los captaluces de color verde corresponden a la posición de las submuestras 2 y los de color azul corresponden a la posición de la submuestra 3 respectivamente en la pista de ensayo del HVS.



Originalmente se instalaron las submuestras 1 y 3. Se procedió a iniciar el rodamiento del HVS hasta 50 000 pasadas, acumuladas en ambos sentidos, a una velocidad constante de 10 km/h y 100 Psi de presión en las llantas. Al cumplir las 50 000 pasadas se colocan la submuestra 2 y se instala la cámara térmica del HVS con un "set point" de 46°C para aplicar ciclos de temperatura similares a las condiciones ambientales, sin embargo, las temperaturas medidas directamente con las termocuplas en el interior de la cámara térmica se encontraron alrededor de 30°C en el ambiente y 45°C en el bituminoso. Se continuó con el proceso de pasadas hasta 60 000 en total.

Para desarrollar el objetivo 2 se tomaron medición de retrorreflectividad de los captaluces al detener las pasadas de llanta con el HVS en: 0, 2000, 5000, 20 000, 35 000, 40 000, 50 000, 60 000.

Finalmente se procedió aplicar un torque en los captaluces que no se desprendieron por el efecto del rodamiento del HVS y la temperatura adicional con la cámara térmica. Para esto se utilizó un torquímetro manual y una pieza de transición entre el torquímetro y el captaluz, esta última se muestra en la Figura 2. 8. La pieza de transición se diseñó y construyó en el LanammeUCR.



Figura 2. 8. Herramienta utilizada para la transición entre el torquímetro y el captaluz

Ambos objetivos se cumplieron, se presentó un primer boletín con los resultados del primer objetivo y se está trabajando en presentar los resultados del objetivo 2. Además, la asistente de ingeniería química determinó el coeficiente de transferencia térmica del bituminoso. A continuación, se resumen las conclusiones y recomendaciones del experimento obtenidos en el desarrollo del objetivo 1.

Conclusiones Objetivo 1

1. El envejecimiento inducido por ciclos de precalentamiento podría beneficiar durante un periodo previo a la etapa de plasticidad del material, se cuenta con evidencia para asegurar que se da mejoramiento en la capacidad de adherencia hasta tres ciclos.

Informe LM-PI-UMP-R-001-19	Fecha de emisión: Junio 2019	Página 17 de 118
----------------------------	------------------------------	------------------



2. Se concluye que bajo las condiciones de laboratorio donde se realizó la investigación, llevar el material hasta 3 precalentamientos no posee una incidencia negativa sobre su capacidad de adherencia, sin embargo, no se cuenta con suficiente evidencia para asegurar que realizar más calentamientos sea adecuado.
3. Superar la temperatura recomendada por el fabricante y la normativa posee un efecto negativo sobre la capacidad de adherencia del material, esto como consecuencia de un daño prematuro e irreversible en las propiedades del material.

Recomendaciones

1. Es necesario garantizar el buen estado de las termocuplas presentes en las calderas utilizadas en los equipos de colocación de captaluces en campo, por lo que se recomienda calibrarlas periódicamente.
2. Es importante que los colocadores e inspectores vigilen que la temperatura de colocación no sobrepase la recomendada por el fabricante.
3. Al no existir evidencia del comportamiento del material posterior a superar los 3 precalentamientos a la temperatura establecida por el fabricante y la normativa, no se recomienda superar este número de ciclos.

En el siguiente avance se resumirán los resultados del Objetivo 2 y del coeficiente de transferencia térmica del bituminoso.



3. MATERIALES GRANULARES Y SUELOS

3.1. Diseño de bases estabilizadas con cemento

Objetivo: Desarrollar una especificación técnica para diseño y construcción de bases estabilizadas con cemento para Costa Rica

Las bases estabilizadas con cemento han mostrado ser una alternativa muy importante para la construcción de pavimentos. Su aporte estructural, la variabilidad de materiales en las distintas zonas del país, el clima lluvioso y la presencia de zona con niveles freáticos altos favorecen la aplicación de esta tecnología. Logrando aumentar la vida útil de los pavimentos disminuyendo la frecuencia en el mantenimiento.

Actualmente en Costa Rica más del 50% de las carreteras de la red vial nacional están siendo rehabilitadas o construidas utilizando bases estabilizadas con cemento.

La Fase Dos del proyecto ha sido concluida satisfactoriamente, los datos obtenidos implican una matriz de información de 414x14 datos. Las variables más significativas para estudio son:

- 2 tipos de cemento de 2 proveedores distintos
- 2 métodos de compactación
- 3 contenidos de cemento
- 5 edades de falla

Del análisis de la información se pretende obtener la combinación de variables óptimas para un desempeño adecuado en el campo de estos materiales. La especificación técnica del Manual para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica CR 2010, será modificada producto de esta investigación.

Como Tercera Fase se va a dar inicio a la calibración de modelos de transferencia para predecir vida a la fatiga de estos materiales, actualmente se cuenta con la colaboración de la empresa Pedregal quién suministrará 10 fuentes de materiales distintos para el desarrollo de la investigación. Dichas fuentes comprenden las siguientes zonas del país:

- Abangares



- Liberia
- Nicoya
- Esparza
- Orotina
- Guápiles
- Pérez Zeledón
- San Carlos

3.2. Características mecánicas de suelos en condiciones de humedad variable

Objetivo: Generar ecuaciones capaces de predecir las características mecánicas de suelos en condiciones de humedad variable.

De acuerdo con la práctica habitual de análisis de suelos, las características mecánicas se han determinado con respecto a su estado saturado, debido a que es la condición más crítica; sin embargo, las nuevas metodologías de diseño apuntan a mayor eficiencia en el uso de los recursos y sobre todo, en el conocimiento profundo de las características mecánicas de todos los materiales que se utilizan en la conformación de estructuras de pavimento bajo las condiciones reales de carga y clima.

Debido a lo anterior, se desea elaborar una base de datos que permita obtener información sobre las humedades reales de equilibrio, en las que los suelos que conforman las subrasantes se encuentran. Obtenida dicha información, es posible establecer cuáles son las características mecánicas reales de dichos materiales y así, poder generar diseños mucho más eficientes que potencien las capacidades de resistencia de dichos materiales.



3.3. Desarrollo de un protocolo de ensayo para estimación de fatiga en una base estabilizada con cemento

Objetivo: Implementar un protocolo de ensayo a fatiga y la definir de un modelo para evaluar el comportamiento a fatiga de una base estabilizada con cemento con una resistencia a la compresión promedio de 2,45 MPa para estructuras de pavimentos.

Con la urgente necesidad de invertir en la mejora de la red vial y de utilizar de forma eficiente y eficaz los recursos públicos, es indispensable la búsqueda de formas de optimización para mejorar la infraestructura vial con los mismos recursos económicos, enfocándose siempre en trabajos de buena calidad y duraderos.

Las bases estabilizadas con cemento permiten un aumento de resistencia y durabilidad en la vida útil de los pavimentos, reduciendo así los costos de mantenimiento. Lo anterior los convierte en una opción viable para implementar en el diseño y construcción de pavimentos.

La realización de investigaciones como esta permitirá evaluar y proponer un modelo de fatiga para analizar y diseñar bases estabilizadas con cemento, obtener conclusiones y emitir recomendaciones al respecto.

Con esta investigación se ha logrado implementar el protocolo de moldeo y compactación de vigas de base estabilizada. Adicionalmente, se logró implementar un ensayo a fatiga de manera satisfactoria, para este caso se utilizaron 15 vigas de base estabilizadas, donde se ensayaron dentro de un intervalo de 60% a 90% de la carga de ruptura nominal. Se aplicó el criterio de falla que indica que la falla de la viga se da al llegar a un 50% del Módulo Inicial. En la siguiente figura se puede observar en detalle el montaje del equipo utilizado.

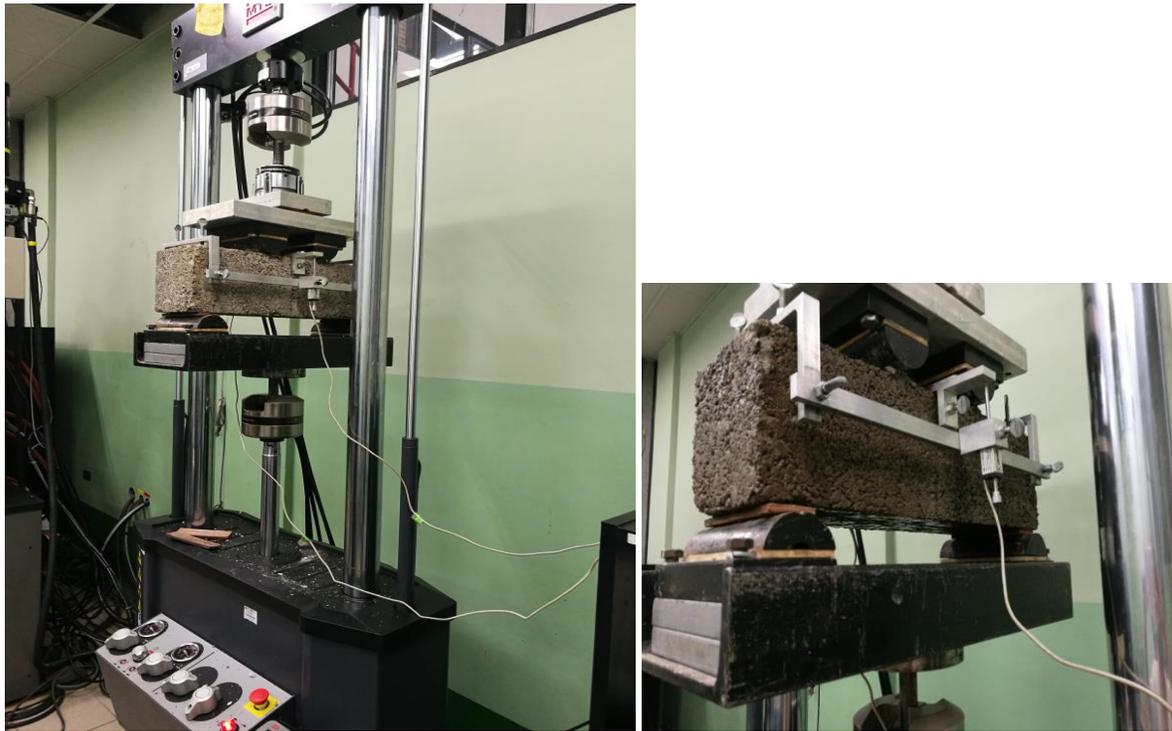


Figura 3. 1. Montaje final de la viga de base estabilizada para el ensayo de fatiga

Del ensayo de fatiga fue posible obtener los resultados de deflexiones y del número de ciclos (N) a los que el valor del módulo es igual a un 50% del módulo inicial (criterio de falla). A partir de estos datos es posible estimar los principales parámetros utilizados en la literatura para la estimar una ecuación de fatiga que son la relación de esfuerzos (SR) y la deformación unitaria (ϵ), parámetros que son producto de un análisis de esfuerzo en el diseño de pavimentos, mecanístico empírico.

Utilizando la relación de esfuerzos SR , corresponde a la siguiente forma:

$$\log(N) = 1,60 - 9,39 \cdot \log(SR)$$

donde N : Número de repeticiones de carga, SR : Relación de esfuerzos, $SR = \sigma / MR$



4. CIENCIA DE MATERIALES

4.1. Oxidación de asfalto

El conocimiento del comportamiento químico y reológico del ligante asfáltico permite asegurar que tenga un buen desempeño en su uso para pavimentación. Las condiciones ambientales tienen un efecto importante en este análisis, dado que generan efectos que inciden en el comportamiento y las propiedades del ligante asfáltico. Diferentes ensayos de laboratorio procuran predecir estas condiciones, sin embargo, estudios anteriores han demostrado que es necesario calibrar adecuadamente éstas condiciones para representar adecuadamente los fenómenos que ocurren durante la oxidación del ligante asfáltico en campo.

Por tanto, es importante utilizar procedimientos y modelos adecuados a las condiciones ambientales propias de los lugares donde se emplean los materiales. Así mismo, realizar validaciones y ajustes correspondientes con base en resultados experimentales obtenidos. Para esto es necesario en este trabajo incentivar a investigadores en el área de los asfaltos a unirse a esta iniciativa y así poder con un grupo de trabajo comprometido, ubicando estaciones experimentales en diversas zonas climáticas del continente, que propicien conclusiones contundentes sobre el fenómeno de fatiga y el daño por humedad.

Este proyecto es ambicioso pues buscamos con la ayuda de varios investigadores y distintas distribuciones climáticas, estudiar el proceso de oxidación del asfalto, ya sea por método natural o acelerado en el laboratorio y evaluarlo bajo distintos métodos de análisis físico-químicos, ponderando la incidencia de este fenómeno en el daño por humedad y evaluando cómo se afectan estas propiedades del ligante asfáltico para tratar de predecir su comportamiento. Por otro lado, se trabaja en la fabricación de un dispositivo de oxidación acelerado con condiciones controladas de temperatura, humedad y radiación ultravioleta, con el fin de condicionar la muestra de forma idéntica como si estuviese en intemperie, pero en un menor tiempo.

Este estudio se basa en las siguientes etapas generales:

Fase 1

Estudio de las condiciones climáticas de cada país, específicamente humedad, temperatura y radiación ultravioleta.

La presente investigación se utilizará Cemento Asfáltico Convencional de uso en pavimentación, mismo que no ha sido sometido a ningún tipo de modificación. Lo anterior se realizó con el objetivo de simular los procesos de envejecimiento que le ocurren al asfalto en planta, previo a su colocación en la carretera. Posteriormente, el asfalto se colocó en moldes no-adhesivos de manera que se produjera una película de 1mm de espesor. Los moldes fueron colocados en las distintas estaciones experimentales descritas en la Tabla 4. 1. Las primeras estaciones experimentales se ubicaron en regiones climáticas muy diferentes entre sí. En la Figura 4. 1, se muestran los mapas térmicos de las estaciones experimentales vigentes en el proyecto.

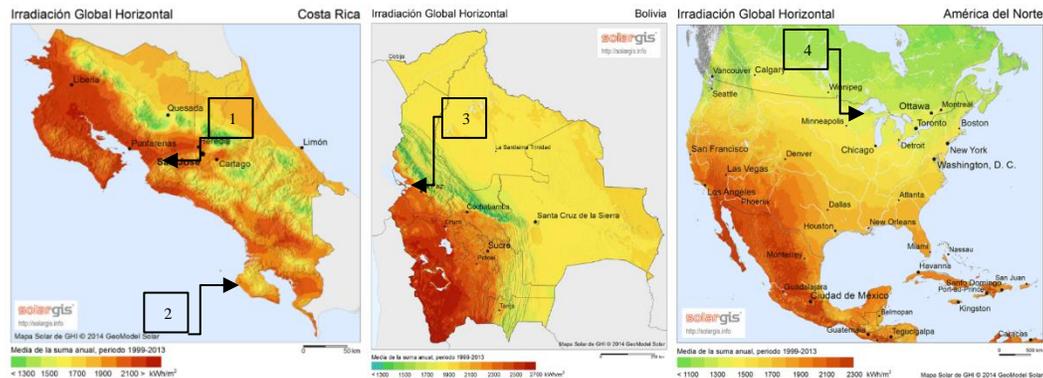


Figura 4. 1. Mapa térmico Estaciones experimentales para la oxidación a la intemperie, Estación 1: San Pedro de Montes de Oca, Provincia de San José, Costa Rica. Estación 2: Golfito, Provincia Puntarenas, Costa Rica. Estación 3: Ciudad de La Paz, Provincia Murillo

La diversidad de climas en las estaciones ayuda a variar las condiciones a las cuales el asfalto se oxida, como se muestra en la Figura 4. 2.



Figura 4. 2. Imágenes del Altiplano Boliviano, San Pedro Costa Rica, Kingston Ontario Canadá, Golfito Costa Rica

Tabla 4. 1. Características ambientales de las estaciones experimentales

Estación	Ubicación	Altura (msnm)	Temp. media (°C)	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)	Humedad relativa (%)
1. Costa Rica	San Pedro de Montes de Oca, Provincia de San José	1205	20.1	15.6	26.3	76.8
2. Costa Rica	Golfito, Provincia Puntarenas	6	26.3	23.2	30.1	88.3
3. Bolivia	Ciudad de La Paz, Provincia Murillo, Dpto. La Paz	3576	12.8	-2.9	19.8	52.2
4. Canadá	Kingston, Ontario	70	6.85	-12.6	25.5	68

Las muestras de ligante asfáltico oxidado en la intemperie serán analizadas de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 4. 3.

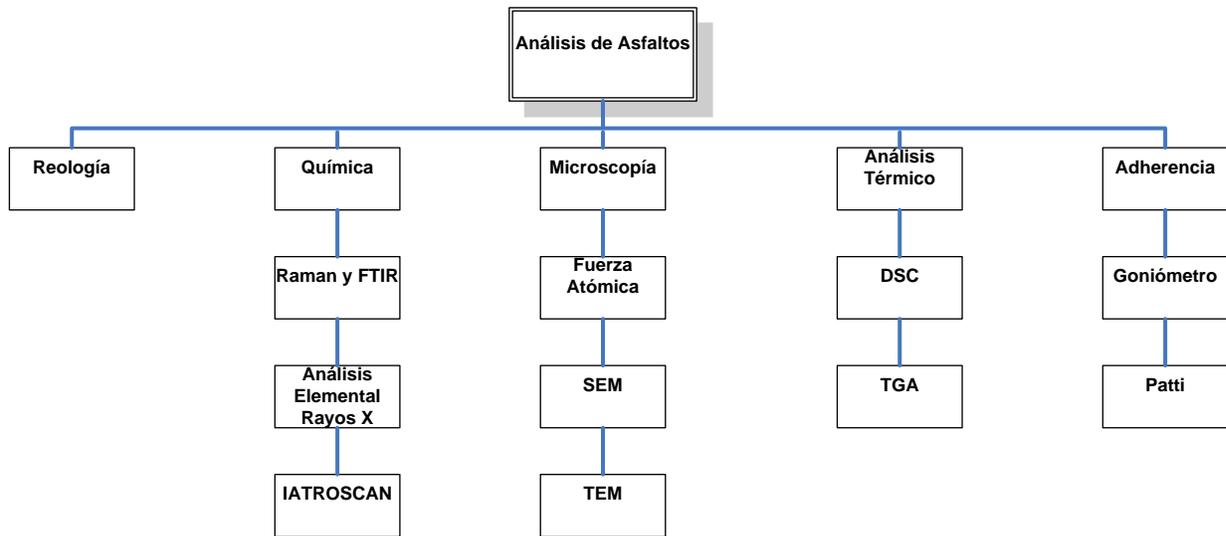


Figura 4. 3. Análisis de Asfaltos

Fase 2

Oxidar y evaluar por un periodo de 5 años tanto el asfalto como la mezcla asfáltica, dejándolos a la intemperie en regiones de América y Europa. Los países confirmados: Canadá, Costa Rica, Colombia, Bolivia, Chile, España, México y El Salvador.

Fase 3

Fabricar un dispositivo de oxidación acelerado con condiciones controladas de temperatura, humedad y radiación ultravioleta, utilizando en su diseño los productos de las fases anteriores.

Fase 4

Proponer ensayos de fatiga para temperaturas intermedias tanto para ligantes asfálticos como para mezclas.



4.2. Estudio fisicoquímico de la oxidación y su incidencia en el daño por humedad de asfaltos

Objetivo: Estudiar el proceso de oxidación del asfalto tanto natural como acelerado en el laboratorio y evaluarlo bajo distintos métodos de análisis físico-químicos.

Cinética de la oxidación del asfalto

La investigación busca estudiar de forma integral la oxidación del asfalto, de forma que pueda relacionarse la composición química del material en los diferentes momentos de su vida útil con el desempeño mecánico que exhiba. En el último año, se analizó la evolución de ciertos compuestos químicos en el material y su relación con sus propiedades físicas y mecánicas.

Específicamente, los grupos funcionales como los carbonilos, los sulfóxidos y las insaturaciones, se consideran los cambios químicos más significativos que le ocurren a las moléculas de asfalto con la oxidación. Dado que se reconoce que dichas transformaciones influyen en la respuesta mecánica y térmica del material, se estudió este tema mediante la producción de asfalto altamente oxidado. Para ello, se relacionaron sus índices de oxidación (índices de carbonilo, sulfóxido e insaturaciones obtenidos a partir de espectrometría infrarroja) con ciertos parámetros reológicos y termodinámicos, tales como la temperatura de entrecruzamiento (Figura 4. 4) y la temperatura de transición vítrea (Figura 4. 5). Los resultados mostraron que los cambios químicos experimentados por el betún con la oxidación influyen en gran medida en sus respuestas reológicas y térmicas. Se encontró que las interacciones intermoleculares del asfalto oxidado son más fuertes producto del incremento en la cantidad de carbonilos en el material, lo cual hace que el ligante muestre un comportamiento más vítreo. A su vez, esto se traduce en temperaturas de transición vítrea más bajas y de entrecruzamiento más altas.

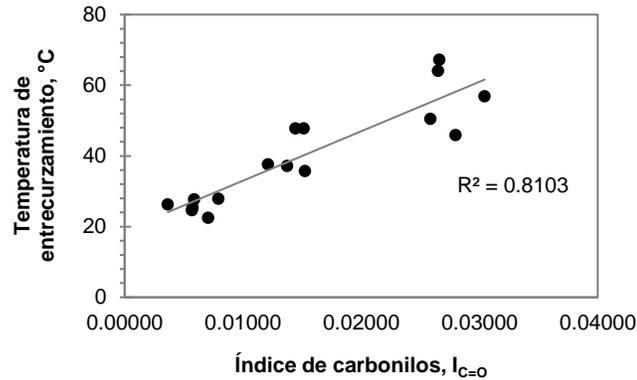


Figura 4. 4. Temperatura de entrecruzamiento en función del índice de carbonilo

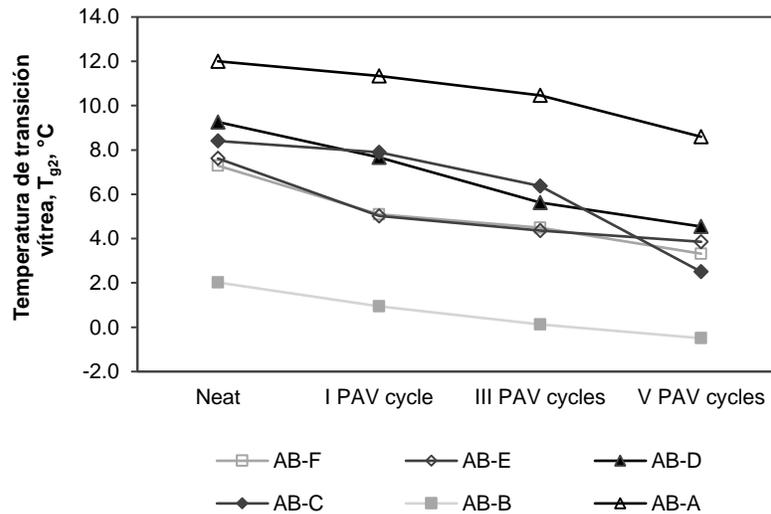


Figura 4. 5. Temperatura de transición vítrea (T_{g2}) en función de los ciclos de oxidación en horno PAV

Estos hallazgos resaltan la importancia de conocer la composición química del asfalto y cómo cambia en el tiempo durante su vida útil, esto ayudará a determinar las temperaturas a las que el material es más susceptible al agrietamiento por fatiga.



4.3. Análisis físico-químico de adhesión asfalto-agregado en Costa Rica

Objetivo: Estudiar las propiedades adhesivas de ligantes asfálticos mediante pruebas fisicoquímicas y mecánicas.

El presente resumen trata del avance obtenido en la determinación de los parámetros derivados de la energía superficial de las combinaciones asfalto-agregado en una mezcla asfáltica y su relación con el desempeño mecánico de tales mezclas ante condiciones críticas de humedad. Las mezclas asfálticas analizadas (tabla) se sometieron a ciclos de hielo/deshielo y se monitoreó el cambio en el módulo del material con respecto a la condición inicial.

Tabla 4. 2. Mezclas asfálticas analizadas en el proyecto

Agregado	Asfalto	Mezcla
Fuente de agregado 1 (9.5 NMAS)	Fuente de asfalto 1	Original
		2 %SBS
		0.5% LAS
		2% SBS + 0.5% LAS
		1% Cal
		2% SBS + 1% Cal
Fuente de agregado 2 (12.5 NMAS)	Fuente de asfalto 1	Original
		2 %SBS
		0.5% LAS
		2% SBS + 0.5% LAS
		1% Cal
		2% SBS + 1% Cal
Fuente de agregado 3 (9.5 NMAS)	Fuente de asfalto 2	Original
		2 %SBS
		0.5% LAS
		2% SBS + 0.5% LAS
		2% SBS + 1% Cal
		Original
Fuente de agregado 3 (12.5 NMAS)	Fuente de asfalto 2	2 %SBS
		0.5% LAS
		2% SBS + 0.5% LAS
		2% SBS + 1% Cal
		Original
		2% SBS + 1% Cal

Por otra parte, se procedió con la medición de los parámetros fisicoquímicos relacionados con la susceptibilidad a la humedad a partir de mediciones de goniometría. Se enfatizó en el parámetro $W_{BW} + W_{AW}$, cuyos valores individuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. 3. Compatibilidad agua-asfalto (WBW) y agua-agregado (WAW) para los materiales analizados en el proyecto

Material		W_{BW} , mJ/m^2	W_{AW} , mJ/m^2
Fuente de asfalto 1	Original	61.6	-
	2 % SBS	57.6	-
	0.5% Antistrip	53.6	-
	2% SBS + 0.5% Antistrip	52.5	-
	1% Cal	61.9	-
	2% SBS + 1% Cal	66.6	-
Fuente de asfalto 2	Original	52.4	-
	2 % SBS	55.3	-
	0.5% Antistrip	62.4	-
	2% SBS + 0.5% Antistrip	62.9	-
	2% SBS + 1% Cal	55.8	-
Grava 1		-	66.12
Grava 2		-	92.26
Grava 3		-	103.6

Los resultados obtenidos muestran una correlación entre la pérdida del módulo de las mezclas analizadas luego de los ciclos de hielo/deshielo (E^*R) y el parámetro propuesto de susceptibilidad a la humedad (siguiente figura).

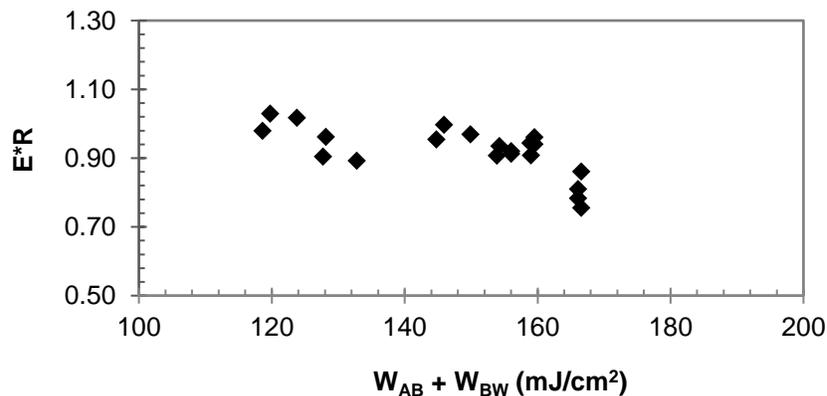


Figura 4. 6. Correlación la pérdida de módulo y el parámetro de susceptibilidad de mezclas asfálticas. Se observó que las mezclas con valores altos de ($W_{AW} + W_{BW}$), considerado aquí como la afinidad de los componentes de la mezcla al agua, exhiben un comportamiento más pobre en cuanto a la retención del módulo luego de la exposición a condiciones severas de humedad. Por lo tanto, se propone el parámetro $W_{AW} + W_{BW}$ como parámetro para determinar de forma sencilla la propensión de una mezcla asfáltica a colapsar en presencia del agua.



4.4. Determinación del contenido de polímero tipo SBR, SBS y EVA mediante la técnica de Infrarrojo con transformada de Fourier.

Objetivo: Desarrollar una metodología de laboratorio para cuantificar la cantidad de polímero tipo SBR, SBS y Elvaloy RET mediante la técnica de FTIR. Este parámetro será muy importante para el control de calidad en el asfalto modificado utilizado en Costa Rica.

Entre los temas en proceso de desarrollo como proyectos de investigación relacionados con asfaltos, se estudian los efectos como oxidación, propiedades micro-mecánicas, asfaltos modificados con polímero, asfaltos verdes entre otros. Los asfaltos modificados incrementan el costo de colocación de la mezcla hasta un 20 % lo que implica que la verificación del contenido de polímero es muy importante como parámetro de control de calidad.

La metodología de evaluación se encuentra en propuesta e implementación del diseño experimental, donde se considera el contenido de polímero determinado por espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier, como fundamento de la técnica, hay que generar una curva de calibración de intensidad de absorción en el infrarrojo determinado como Absorbancia contra concentración conocida de polímero, se obtiene un ajuste lineal y de esta forma la concentración de cualquier asfalto modificado con polímero es determinada con solo la lectura del espectro FTIR de la muestra. Es importante aclarar que se debe realizar una curva de calibración por tipo de polímero.

Considerando un diseño experimental óptimo la curva de calibración se determina midiendo la intensidad de cada nivel de concentración como el promedio de un total de siete replicas. Se construye la curva de calibración y se evalúa su desempeño con muestras incógnita de concentración conocida.

La metodología se encuentra claramente definida, pero podría ser sujeta a modificaciones adicionales con el propósito de mejorarla o ampliar el alcance, con otros polímeros comerciales que estén disponibles, incluso podría evaluarse con polímeros incorporados como material de desecho.

No hay hallazgos encontrados solo los posibles resultados teóricos planteados. Como parte del proyecto se desarrollarán las curvas de calibración, determinando los valores de mérito para los tres tipos de polímero más utilizados en Costa Rica.



4.5. Determinación de propiedades micromecánicas mediante microscopia de fuerza atómica en asfaltos.

Objetivo: Desarrollar metodologías de laboratorio para determinar y cuantificar propiedades micromecánicas del asfalto mediante la técnica de AFM (por sus siglas en inglés). Propiedades como adhesión, rigidez, topografía, módulo de elasticidad, viscosidad y cohesión, son propiedades de mucho interés para correlacionarlos con magnitudes determinadas a nivel macro.

Entre la amplia gama de proyectos relacionados con asfaltos, involucra oxidación, propiedades micromecánicas, asfalto modificado con polímero, asfaltos verdes entre otros. Las propiedades micromecánicas ofrecen mucha información y correlacionan los resultados obtenidos con los ensayos normados a escala natural con los resultados a nivel nanométrico. Estas propiedades que pueden ser consideradas casi fundamentales, permiten explorar el comportamiento del asfalto a nivel de interacción molecular, aunque no todos los laboratorios cuentan con un equipo tan especializado la información aquí obtenida es fundamental como parte del estado del arte en el área de ingeniería de pavimentos.

La metodología de evaluación se encuentra bien definida se ha convertido en todo un viaje de hallazgos que inicio desde la obtención de imágenes ópticas y topográficas del asfalto y de sus fracciones SARA que lo componen, hasta obtener información de fuerza máxima, adhesión y rigidez de asfaltos, en asfaltos envejecidos de forma controlada y acondicionados a la intemperie. Como trabajo de graduación para optar por el grado de magister en ciencias se desarrolló la determinación del módulo de elasticidad mediante nanoindentación, y se evaluaron una serie de muestras con diferentes acondicionamientos. En la etapa más reciente se busca obtener información de cohesión y viscosidad evaluando diferentes tipos de asfalto y acondicionamientos de forma controlada a diferentes niveles.

La metodología se encuentra claramente definida, pero podría ser sujeta a modificaciones adicionales con el propósito de mejorarla o ampliar el alcance. Como etapas futuras aplicar todas las metodologías tomando en cuenta asfaltos modificados y asfaltos producto de la ruptura de emulsiones asfálticas.

Tabla 1. Avance del esquema experimental del proyecto de propiedades micromecánicas de asfaltos mediante AFM

Ensayo	Asfalto	Etapa			Viscosidad y cohesión
		Acondicionamiento	Topografía, f_{max} , adhesión rigidez	Módulo de elasticidad	



AFM, DPFM, CM, AM, Indentación	Control	√	√	√	√
	RTFO	√	√	√	√
	RTFO +PAV	√	√	√	√
	2PAV	√	√	√	√
	3PAV	√	√	√	√
	4PAV	√	√	√	√
	5PAV	√	√	√	√
	1 mes I hasta 1 año (@ cada mes)	√	√	√	√

AM: asfalto modificado; DPFM: modo de fuerza pulsad digital; CM: modo de contacto; AM: modo acústico. RTFO: envejecido mediante película delgada rotacional; PAV: Recipiente de envejecimiento presurizado; I: Intemperie.

Dentro de los principales hallazgos obtenidos a la fecha se destaca la obtención de módulo de elasticidad obtenido mediante nanoindentación, y la posibilidad de determinar información de cohesión y de viscosidad. La cohesión junto con la adhesión podría correlacionarse con el daño por humedad, además de hacer correlaciones cruzadas con técnicas como el ensayo de ABS en el PATTI y la goniometría, y la viscosidad la adhesión y la rigidez se podría correlacionar como propiedades viscoelásticas en los asfaltos.



5. SOSTENIBILIDAD

5.1. Análisis del Ciclo de Vida (ACV) completo en proyectos de infraestructura vial

Objetivo: Desarrollar una herramienta de Análisis de Ciclo de Vida completo, en el que se incluyen las etapas de mantenimiento, rehabilitación, uso y final de la vida útil del pavimento.

El proyecto de ACV completo, busca dar continuidad al proyecto realizado el año anterior en el que se estimaron las emisiones generadas durante las etapas de extracción de materia prima, producción, transporte y colocación de mezcla asfáltica en la carretera La Abundancia-Florencia, San Carlos. En este sentido, se va a completar el Ciclo de Vida, incluyendo las etapas de mantenimiento, rehabilitación, uso y final de la vida útil del pavimento. La Figura 5. 1 detalla las funciones a realizar para llevar a cabo el proyecto de ACV.



Figura 5. 1. Funciones a realizar en un proyecto de ACV

5.2. Enfoque de Sostenibilidad y Resiliencia en Ruta Nacional N°606, Sección: Guacimal- Santa Elena

Objetivo: Presentar un enfoque evaluativo de la situación que presenta la Ruta Nacional N°606, sección Guacimal - Santa Elena en términos de resiliencia, sostenibilidad y adaptabilidad, con las posibles implicaciones del cambio climático.



El aumento en la temperatura, la presencia de lluvias intensas y otros eventos naturales, han generado afectación a los habitantes y visitantes de la Ruta N°606 (Figura 5. 2). Además, la construcción de esta ruta ha evidenciado la utilización de técnicas constructivas y materiales que carecen de un adecuado control de calidad que propicie el desempeño esperado para brindar un servicio eficiente y seguro. Esta situación presente en esta carretera ha dado pie a la escogencia de la misma como parte de este estudio, el cual será presentado como un capítulo a incluirse dentro de un Informe Evaluativo que genera el PITRA en colaboración de sus unidades.

En este enfoque, también se está trabajando en una propuesta base para incluir la parte ambiental dentro del cartel de licitación “Diseño, Construcción y Mantenimiento por Estándares de la Infraestructura de la Ruta Nacional N°606, Sección Guacimal-Santa Elena”.



Figura 5. 2. Mapa de ubicación del proyecto Ruta Nacional N°606



5.3. Investigación en temas varios: Declaración Ambiental de Producto (EPD, por sus siglas en inglés), y el Tren de Carretera (conocido como Platooning)

Objetivo: Investigar en dos temas de relevancia en los últimos años, debido a la necesidad de tecnología y exigencias ambientales que permitan enfrentar los cambios en los que se verá involucrado el sistema de transporte y la infraestructura vial del país.

La investigación centra su atención en el desarrollo de EPDs para diferentes proyectos de construcción de carreteras. Su objetivo se basa en una declaración ambiental certificada que brinda información sobre los datos ambientales de ciclo de vida de un producto o servicio. Su aplicación es significativa debido a que propicia la adquisición de productos verdes por parte del sector público y privado, y proporciona una base de comparación en el desempeño ambiental de los productos.

Ahora bien, en el caso del “platooning”, el cual consiste en una agrupación de vehículos automatizados que incrementa la capacidad de transporte en carreteras. Ha sido un tema de interés, debido a los importantes beneficios que traería su implementación, entre los cuales destacan: menor consumo de combustible, reducción en emisiones contaminantes, y mayor seguridad en carreteras.

Ambos temas buscan acercar más al país en el desarrollo de alternativas que reduzcan las emisiones contaminantes al ambiente y propicien una movilidad comfortable y segura para enfrentar los cambios, responder de manera eficaz y adaptarse a situaciones futuras.



6. GEOSINTÉTICOS

6.1. Evaluación del cambio por temperatura en las propiedades mecánicas y químicas de los geotextiles durante la colocación de sobrecapas asfálticas

Objetivo: Evaluar con base en datos experimentales, la influencia de la temperatura de colocación de la mezcla asfáltica en las propiedades químicas y mecánicas del geotextil.

El uso de geotextiles mejora la resistencia a la tensión entre capas brindando mayor vida útil al pavimento ante la aplicación de cargas. En los últimos años se ha incrementado el uso de este material en el país, sin embargo, no se tiene pleno conocimiento de factores que los podrían afectar al instalarlos, tal como la temperatura de colocación de la mezcla asfáltica.

El proyecto abarca la evaluación química y mecánica del material geotextil no tejido de polipropileno, utilizado en sobrecapas asfálticas. Se evalúa este material en específico ya que su punto de fusión ronda los 150 °C, temperatura cercana a la de colocación de la mezcla asfáltica. Se escogen las temperaturas de 60°C y 80°C para simular el efecto de la emulsión asfáltica con la que se impregna el geotextil en el campo, así como las temperaturas de 150 °C y 170 °C para determinar el efecto térmico durante la colocación de la mezcla asfáltica, siendo la última temperatura un límite crítico máximo.

Para evaluar las propiedades químicas del geotextil se efectúan los ensayos de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para observar la morfología del geotextil y arreglo estructural, Análisis Termogravimétrico (TGA) y Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) para determinar el efecto térmico a diversas temperaturas, Espectrometría Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR) para hallar la huella digital del geotextil y Goniometría para establecer la adhesión entre el ligante asfáltico y el geotextil. También, se realiza un ensayo de Resistencia a la tensión Grab, con el fin de determinar si las características mecánicas del material varían con la exposición a la temperatura y evaluar el desempeño del geotextil.

El avance del esquema experimental se resume en la Tabla 6. 1.

Dentro de los principales hallazgos a la fecha se destaca:

- Mediante el ensayo FTIR se obtiene la huella digital típica del polipropileno, por lo que el material se logra caracterizar (Figura 6. 1).



- Al someter el geotextil no tejido de polipropileno a una temperatura extrema de 170 °C este presenta daño térmico a simple vista (Figura 6. 2).
- Al comparar los espectros del geotextil acondicionado a 170 °C se obtiene que a mayor gramaje se presentan picos mayores de oxidación que en el de menor gramaje, ya que a mayor porcentaje de polipropileno existe una alteración térmica mayor.
- A través del TGA se obtiene un termograma típico de un polímero, donde se presenta una primera pérdida debida a la humedad, una pérdida por descomposición del material a 230°C en promedio y un residuo.
- Por medio del DSC se evidencia una transición vítrea (transición física de segundo orden) a bajas temperaturas, lo cual indica que por debajo de esa temperatura el polipropileno se vuelve rígido y quebradizo. También se da una transición térmica de cristalización (transición física de primer orden) alrededor de 153 °C, la cual indica el punto donde se alcanza suficiente energía para que se dé un arreglo cristalino.
- Para que la cristalización ocurra requiere energía, por lo que se da un proceso endotérmico donde se absorbe calor.
- Con el ensayo de tensión Grab se concluye que a mayor gramaje mayor resistencia a la tensión. Además, la emulsión asfáltica con la cual se impregna el geotextil aporta resistencia a la tracción, siempre y cuando se calcule una adecuada dosificación.

Tabla 6. 1. Avance del esquema experimental del proyecto

Geotextil	FTIR	TGA	DSC	Goniometría	SEM	Tensión Grab
N. 27.1 (gramaje 140 g/cm ²)	X	X	X	X	X	X
N. 40.1 (gramaje 203 g/cm ²)	X	X	X	X	X	X

Donde **FTIR:** Espectrometría Infrarroja de Transformada de Fourier, **TGA:** Análisis Termogravimétrico, **DSC:** Calorimetría de Barrido Diferencial, **SEM:** Microscopía Electrónica de Barrido.

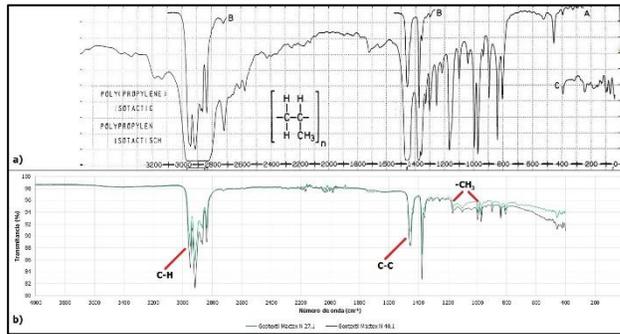


Figura 6. 1. Comparación del espectro del Atlas de compuestos orgánicos (a) con el obtenido en el laboratorio (b)

Fuente: Schrader, 1989

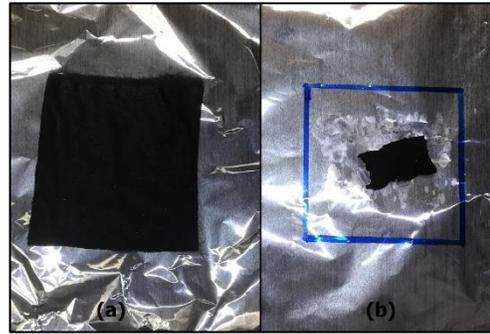


Figura 6. 2. Evidencia de daño térmico a 170 °C. (a) Geotextil antes del acondicionamiento térmico (b) Geotextil después del acondicionamiento a 170 °C

6.2. Análisis del desempeño de geosintéticos como sistemas de intercapa en pavimentos flexibles

Objetivo: Analizar el desempeño mecánico de los geosintéticos como sistema intercapa evaluando la resistencia a la adherencia entre capas de pavimento y la factibilidad de la técnica en rehabilitación de pavimentos.

En este proyecto se fabrican especímenes de mezcla asfáltica con dos capas distintas de 150 mm de diámetro; estas se adhieren por medio de un geotextil o una geomalla y el riego de emulsión asfáltica, para simular un sistema de intercapa utilizado en los pavimentos. Estas probetas fueron ensayadas con el equipo de corte directo, siguiendo el procedimiento de ensayo ALDOT-430 (en la Figura 6. 3 se muestra la configuración del ensayo) para determinar la adherencia entre capas al utilizar un geosintético. Finalmente, se comparó el comportamiento obtenido en el laboratorio con un modelo de elementos finitos elaborado en el software ABAQUS.

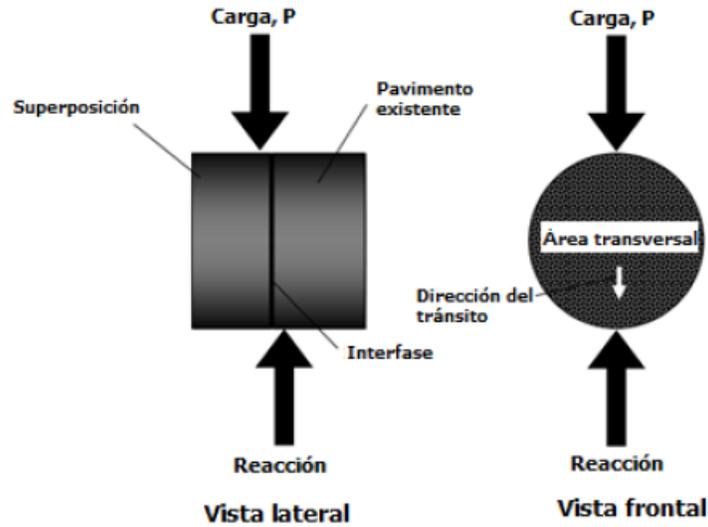


Figura 6. 3. Ilustración de la configuración del ensayo ALDOT-430

Para el proyecto se generó un modelo en tres dimensiones del ensayo ALDOT-430 (este se puede observar en la Figura 6. 4). En dicho modelo se incluyeron propiedades viscoelásticas (se utilizaron dos temperaturas; 25 °C y 60 °C) medidas en el laboratorio para la mezcla asfáltica, y se analizó tanto la aplicación de una carga estática como de una carga incremental dinámica. Específicamente, con el modelo se determinaron los resultados de esfuerzo cortante y carga máxima, y se compararon con los datos obtenidos en el ensayo ALDOT-430.

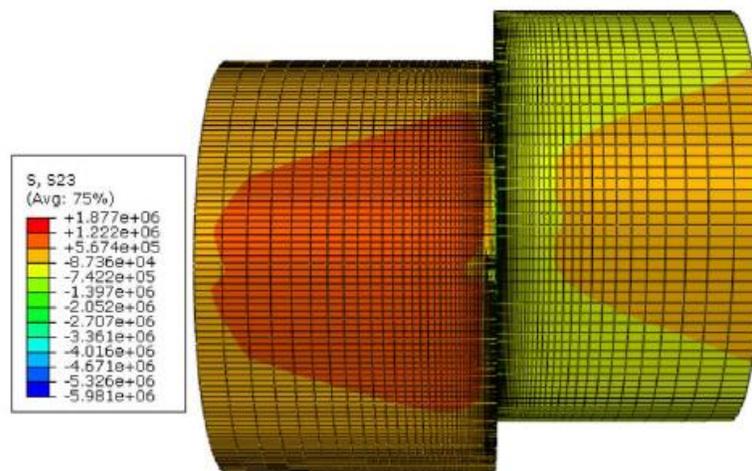


Figura 6. 4. Modelo FEM del ensayo ALDOT-430



En todos los casos se observaron resultados satisfactorios, con un porcentaje de error bajo, entre las respuestas obtenidas con el modelo de elementos finitos y las obtenidas en el laboratorio. En la Tabla 6. 2 se puede observar dicha comparación.

Tabla 6. 2. Comparación de datos obtenidos con el modelo de elementos finitos y los datos obtenidos en el laboratorio para la mezcla asfáltica a 25 °C

Caso	τ max por Abaqus (Pa)	τ max calculado (Pa)	Error (%)	Carga máxima por Abaqus (N)	Carga máxima en ensayo (N)
Control	2038200	2074104.313	1.73	12005.99	12217.48
Geomalla	1408500	1418247.84	0.68	8296.75	8354.17
Geotextil	533815	544743.7	2	3144.43	3208.81

En la tabla anterior también se puede observar que la mayor resistencia al cortante se obtiene con las muestras de control, mientras que la menor resistencia se obtiene al utilizar un geotextil en la intercapa. Esto puede deberse a que el mayor aporte a la resistencia al cortante, en la intercapa, lo aporta la trabazón de agregados, y al colocar un geotextil dicha trabazón entre agregados se ve disminuida.



7. DESEMPEÑO DE PAVIMENTOS

7.1. Desarrollo de un modelo para predecir la regularidad superficial de una carretera considerando actividades de rehabilitación

Objetivo: Generar un modelo de predicción de regularidad superficial en pavimentos a partir de distintas variables geométricas, estructurales, funcionales e inversiones en actividades de mantenimiento en una carretera.

Este proyecto tiene como objetivo generar un modelo que permita predecir la condición funcional de una vía en términos de IRI con el paso del tiempo y posterior a su construcción. Con esto lo que se busca es analizar el nivel de significancia que tienen una serie de variables con respecto a la evolución de la condición funcional de un pavimento y determinar cuáles de ellas inciden en el proceso evolutivo de la fricción superficial en un pavimento.

Para el desarrollo de este proyecto se tienen tres etapas principales:

Recolección de información

Esta etapa consiste en la recopilación de la información sobre las variables a considerar inicialmente en el modelo. Dichas variables están asociadas a la condición y características de seis proyectos de rehabilitación mediante la construcción de bases estabilizadas con cemento, estos proyectos son (ver Figura 7. 1):

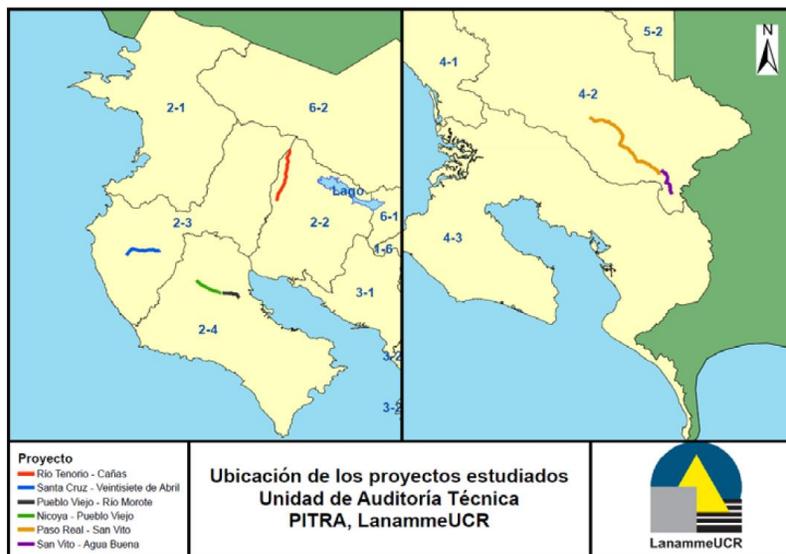


Figura 7. 1. Ubicación de los proyectos evaluados



- Río Tenorio – Cañas en la Ruta Nacional 6
- Santa Cruz – 27 de Abril en la Ruta Nacional 160
- Pueblo Viejo – Río Morote en la Ruta Nacional 21
- Nicoya – Pueblo Viejo en la Ruta Nacional 21
- Paso Real – San Vito en la Ruta Nacional 237
- San Vito – Agua Buena en la Ruta Nacional 237

Por otro lado, las variables recopiladas, para su posterior valoración fueron:

- a) Condición funcional (IRI), estructural (FWD) y de fricción superficial (GripNumber) de los proyectos justo después de su construcción, tres años después y cinco años después.
- b) Cantidad de ejes equivalentes de carga acumulados en estas rutas luego de tres y cinco años de operación.
- c) La inversión realizada sobre estos pavimentos por concepto de mantenimiento vial, luego de tres y cinco años de operación.
- d) Información sobre la curvatura horizontal y las pendientes longitudinales a lo largo de estos proyectos.

Análisis de datos

Esta etapa consiste en el procesamiento de la información recopilada, de manera que los datos se ordenen en formato de base de datos, para que posteriormente puedan ser analizados estadísticamente.

Generación del modelo

La última etapa del proyecto corresponde a la elaboración del modelo estadístico, donde en primer lugar se escogen las variables con mayor significancia y posteriormente se propone el modelo que permita predecir de mejor manera el fenómeno evaluado.

Actualmente, este proyecto se encuentra en el inicio de la etapa 3.

7.2. Uso de sensores ultrasónicos en la medición de desplazamiento lateral vehicular

Objetivos. Estimar la distribución del desplazamiento lateral vehicular utilizando sensores ultrasónicos, en secciones de la Red Vial Nacional Primaria de Costa Rica.

En el estudio se calibró el método con sensores ultrasónicos usando el método de marcas en el pavimento con el uso de una cámara, como se observa en la Figura 7. 2. El estudio se enfocó en determinar la desviación lateral de acuerdo al tipo de vehículo poniendo especial atención en vehículos pesados, debido a que son los responsables del mayor daño estructural en el pavimento.



Figura 7. 2. Marcas en el pavimento utilizadas para validar el método de sensores ultrasónicos

En este estudio se concluyó lo siguiente:

- En las Rutas Nacionales 2, 3, 32 y 108 la distancia respecto al margen de la vía registró datos inferiores a los 200 centímetros.
- En la mayoría de las vías estudiadas, el 50% de los datos se encuentran entre los 50 y 100 centímetros medidos desde el margen de la vía.
- Los vehículos livianos son los que presentan menor distancia desde el margen de la vía en comparación con los vehículos privados.

Los resultados de este estudio se encuentran en un trabajo final de graduación y actualmente se está trabajando en la divulgación de los resultados obtenidos.



7.3. Parámetros de tránsito para diseño de pavimentos en la Red Vial Nacional Primaria de Costa Rica

Objetivos. Determinar y cuantificar las propiedades de los principales parámetros de carga requeridos en el diseño estructural de pavimentos que actualmente imperan sobre el comportamiento de las rutas nacionales primarias en Costa Rica, que servirán como insumo para la modelación de su efecto en el desempeño de las estructuras de pavimentos,

Se determinó espectros de carga (como se visualiza en la Figura 7. 3) para vehículos pesados en diferentes rutas nacionales, que forman parte de la red estratégica nacional y no cuentan con estaciones de pesaje. Para analizar los vehículos realizó una clasificación por número de ejes, teniendo los tipos C2+, C2, C3, C4, T3-S2 y T3-S3.

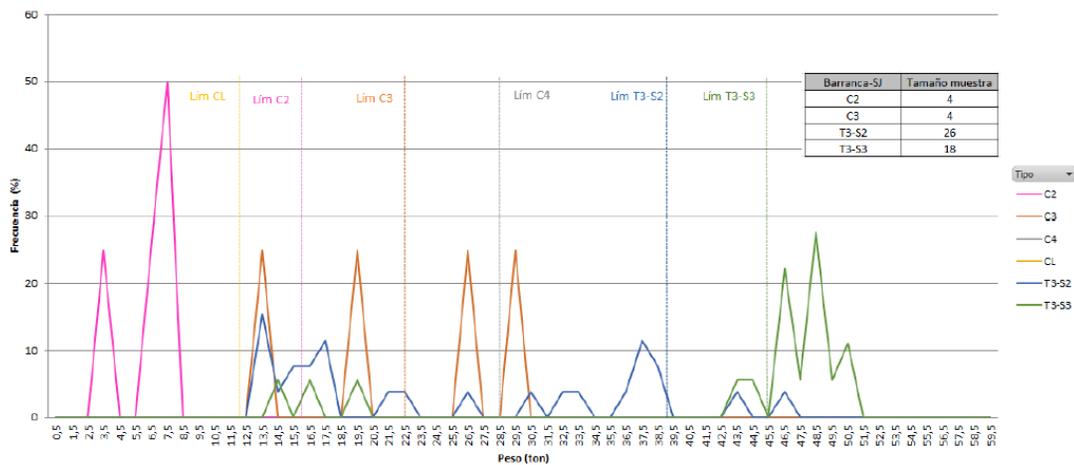


Figura 7. 3. Espectro de carga por tipo de vehículo para ruta 1, sentido Barranca - San José

Fuente: Arrieta, 2017

Como conclusiones y recomendaciones, se enlista:

- Del total de vehículos encuestados (639) cerca del 16% exceden el límite de peso establecido en el Decreto Ejecutivo N° 31363-MOPT.



- Las vías en las que se presentaron la mayor cantidad de vehículo son sobrepeso son: la Ruta Nacional 1, específicamente en Barranca, con 33,6%; la Ruta Nacional 2, en Ochomogo, con 21%; y la Ruta Nacional 32, en la zona de Santo Domingo, con 15%.
- Los vehículos que transportaban materiales de tajo presentaron el mayor porcentaje de sobre peso, con 96%; seguido por los encargados del transporte de combustibles con un 45% y con un 31% los transportistas de productos de agricultura.
- Tomando en cuenta la clasificación de vehículos pesados por su cantidad de ejes, se determinó que los tipos T3-S3, T3-S2 y los C3 son los que presentaron mayor excedencia en el peso máximo establecido, evidenciándose un patrón y una relación directa entre número de ejes y porcentaje de excedencia.
- Los valores de factor camión obtenidos difieren de los estimados por el MOPT-CONAVI en 20% para los C3 y hasta un 95% para los C2+.
- Sería importante aumentar la cantidad de estaciones de control de pesaje con sistemas fijos, sobre todo en rutas donde la circulación de vehículos pesadas es alta.
- Sería de importancia que en el futuro se desarrollen investigaciones para determinar el efecto de la implementación de estaciones de pesaje, en la vida esperada de las vías intervenidas.
- Para el diseño de pavimentos se debería procurar utilizar valores de cargas reales, mediante la utilización de básculas móviles o estáticas.

Otro proyecto en el área de carga determinó factores camión y espectros de carga de algunas rutas cantonales del país, mediante encuestas de carga con pesajes móviles, como se evidencia en la Figura 7. 4. El muestreo se realizó en seis rutas cantonales y solamente se consideraron vehículos pesados tipo C2, C3, T3-S2 y T3-S3.



Figura 7. 4. Ubicación punto de pesaje en San Ramón, frente a complejo deportivo Rafael Rodríguez

Fuente: Rodríguez, 2018

Al final de proyecto se concluye lo siguiente:

- En los cantones analizados, el vehículo pesado visto con mayor frecuencia fue el C2 con un 62,85%; seguido por C3 y T3-S2 con aproximadamente 17% cada uno.
- Del total de vehículos censados, solamente el 7,8% excedía el límite de peso establecido por normativa.
- De los vehículos con sobrepeso, el 43,64% son tipo C3, relacionados con vagonetas que transportan material de tajo; seguido por los T3-S2 con un 34,13%, relacionados con carga de materiales de construcción.

Informe LM-PI-UMP-R-001-19	Fecha de emisión: Junio 2019	Página 47 de 118
----------------------------	------------------------------	------------------



- Los factores camión y espectros de carga varían para mismos tipos de vehículos en cada punto del país.
- Los factores camión obtenidos son menores a los estimados por el MOPT-CONAVI y los presentes en el estudio de LanammeUCR en 2007.
- A partir de los espectros de carga se determinó que algunos vehículos tipo T3-S2 excedían la carga permitida por eje debido a la mala distribución de la misma, a pesar de no sobrepasar el peso vehicular bruto.



8. PAVIMENTOS RÍGIDOS

8.1. Línea de Investigación en Concreto Hidráulico

Objetivo: Realizar investigación en el comportamiento del material, dado que se utiliza para la construcción de pavimentos rígidos.

Recientemente en Costa Rica se está invirtiendo más en la construcción de pavimentos rígidos, con la construcción del proyecto Cañas-Liberia, se nota la importancia de realizar más investigación en el área de pavimentos rígidos para conocer su respuesta en el tiempo ante el paso de las cargas, así como su fase constructiva y los problemas asociados a la misma.

Se continúa con la investigación para la obtención de propiedades de diseño de los pavimentos rígidos: coeficiente de dilatación térmica (CET), alabeo por construcción del concreto y la vida a la fatiga.

CET y Alabeo

Ya se cuenta con el diseño de mezcla para la realización de ambos proyectos, el diseño además ha sido validado. Con respecto al CET ya se realizó el primer ensayo de prueba y se obtuvieron las primeras mediciones, aún se está implementando adecuadamente el ensayo. Con respecto al proyecto de Alabeo, se está definiendo el tamaño de la losa a ensayar y terminando de validar el equipo con el que se desean realizar las mediciones, el cual es un radar Lidar que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado.

En la Figura 8. 1 se observan las muestras e instrumentación que se ha diseñado para medir el coeficiente de expansión térmico y en Figura 8. 2 y Figura 8. 3 se ejemplifica el monitoreo y modelación del alabeo por contracción.



Figura 8. 1. Ubicación de los proyectos evaluados

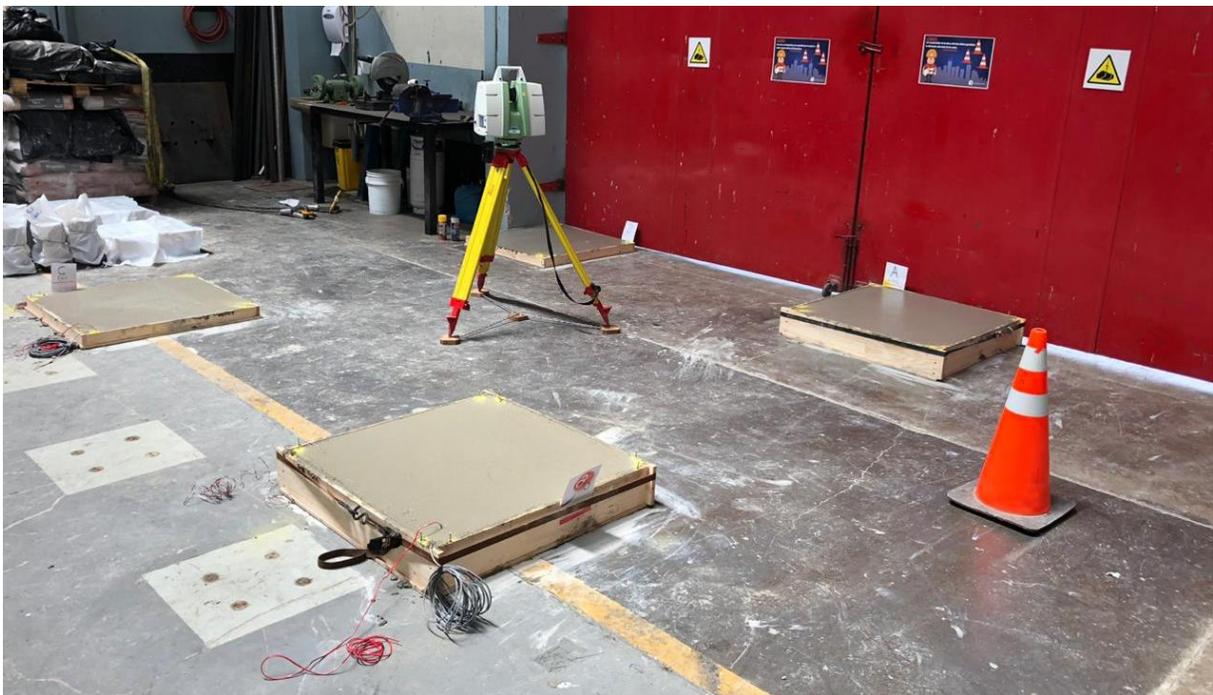


Figura 8. 2 Equipo Lidar para medir alabeo en losas nuevas

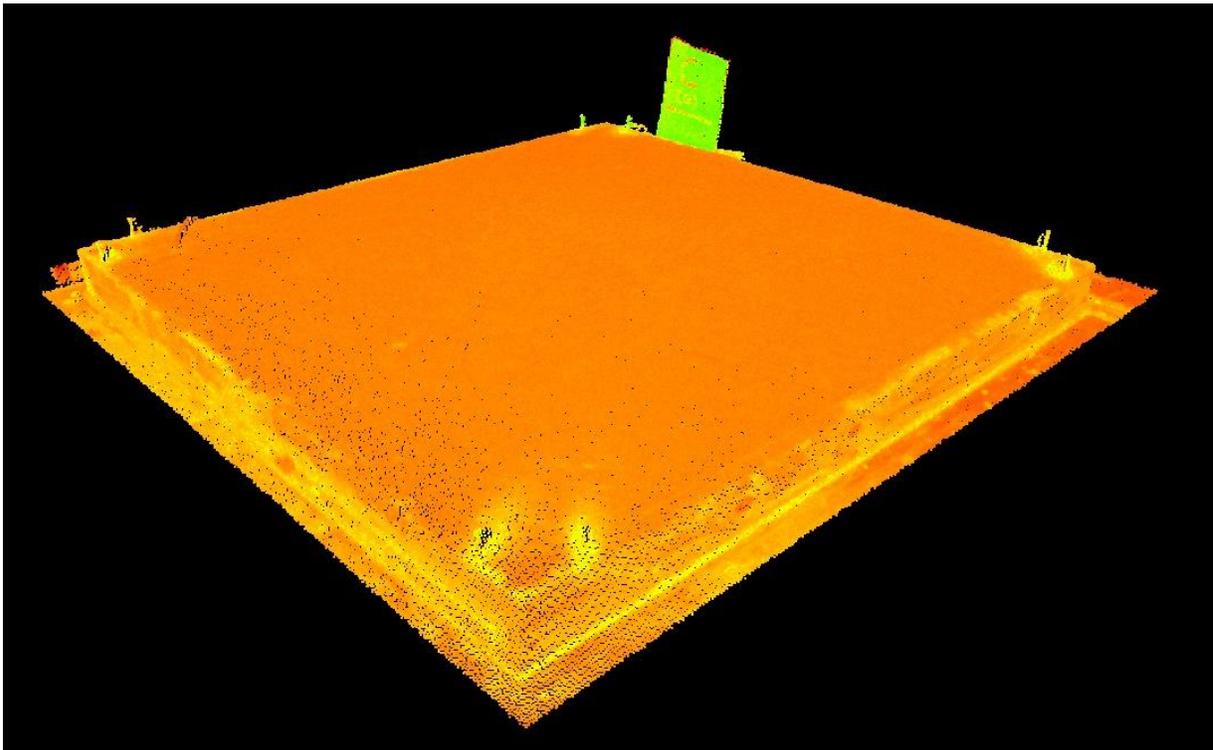


Figura 8. 3 Simulación de losa generada mediante Lidar

Vida a la Fatiga

Se inicia un proyecto que permita obtener un modelo matemático que prediga la vida a la fatiga de mezclas de concreto hidráulico. Inicialmente se utilizarán 3 fuentes de agregados distintas y un tipo de cemento.



9. ENSAYOS A ESCALA NATURAL

9.1. Evaluación del cambio en la rigidez de las capas del pavimento utilizando un modelo multiescala de elementos finitos y datos APT

Objetivo: Elaborar un modelo multiescala de elementos finitos y comparar los resultados obtenidos en dicho modelo con datos obtenidos en los ensayos a escala real conducidos en el LanammeUCR.

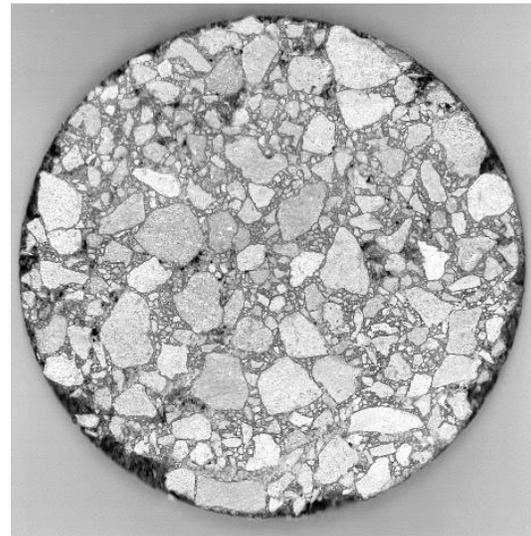
Este proyecto se desarrolla en conjunto con la Universidad de Nevada – Lincoln (UNL) y la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ). Para el estudio se pretende elaborar un modelo multiescala de elementos finitos y comparar los resultados obtenidos en dicho modelo con datos obtenidos en los ensayos a escala real conducidos en el LanammeUCR.

Para la caracterización de materiales se propusieron dos ensayos de laboratorio: el ensayo de flexión semicircular y ensayos de módulo dinámico en probetas de mortero asfáltico utilizando un reómetro. Los ensayos de flexión semicircular fueron efectuados en el LanammeUCR, mientras que los ensayos de módulo se realizaron tanto en el LanammeUCR como en los laboratorios de la UFRJ. Los lineamientos de todos los ensayos fueron definidos por la UNL.

Adicionalmente se enviaron imágenes escaneadas de una sección transversal de las pastillas de mezcla asfáltica para generar una modelación precisa de la distribución de agregados y ligante en la mezcla asfáltica. Un ejemplo de estas imágenes se presenta en la Figura 9. 1.



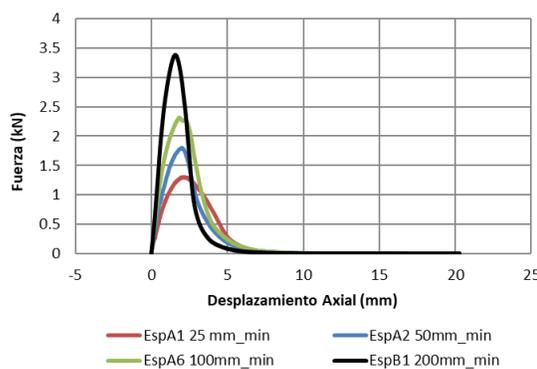
a)



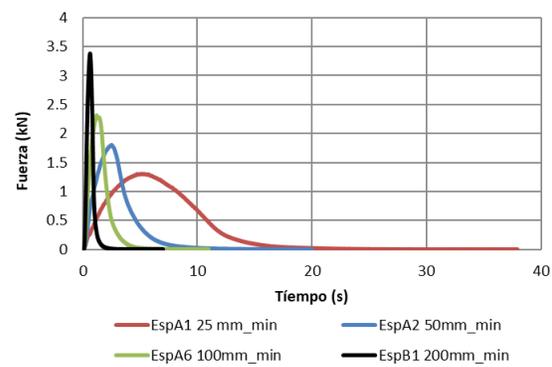
b)

Figura 9. 1. Muestras generadas para los ensayos de flexión semicircular; a) Pastilla de mortero para extracción de especímenes, b) Sección transversal de una pastilla de mezcla asfáltica

Los resultados del ensayo de flexión semicircular fueron satisfactorios, ya que se observó en todos los casos el comportamiento deseado. En la Figura 9. 2 se muestran las curvas de fuerza contra desplazamiento y tiempo de carga. Es posible observar que con la razón de carga mayor (200 mm/min) se obtiene la fuerza máxima en todos las dos gráficas, mientras que para la razón de carga menor (25 mm/min) se obtiene la fuerza mínima. Esto es producto de las propiedades viscoelásticas de la mezcla asfáltica, ya que a una velocidad de carga mayor, el material se vuelve más rígido.



a)



b)

Figura 9. 2. Resultados del ensayo semicircular; a) Fuerza aplicada en función del desplazamiento del actuador, b) Fuerza aplicada en función del tiempo de carga



Este proyecto se encuentra en la fase de modelación con elementos finitos, ya fueron realizados todos los ensayos de flexión semicircular y los ensayos de módulo dinámico con el reómetro (tanto en la UFRJ como en la Universidad de Costa Rica).

9.2. Modelos de desempeño para mezclas asfálticas

Objetivo: Calibrar modelos de deterioro para mezclas asfálticas costarricense utilizando como insumo los datos generados en el Pavelab con el HVS

Este proyecto tiene como objetivo utilizar ecuaciones generadas en laboratorio para ley de fatiga en mezclas asfálticas costarricenses y realizar una calibración acorde a condiciones de campo, es por este motivo que la base datos generada por el simulador de vehículos pesados (HVS) es de vital importancia y permite realizar una calibración de los modelos de laboratorio a escala real.

Dentro del marco experimental utilizado se tiene una calibración por etapas, donde los nuevos datos alimentan diferentes modelos matemáticos generales para diferentes condiciones. Esto quiero decir que primero los modelos serán calibrados con datos del HVS, para algunas condiciones de campo, y conforme la base de datos crezca, se realizaran ajustes en los modelos que capturen los resultados de nuevas condiciones, incluso en un futuro, podrían utilizarse los datos de carreteras reales. A la fecha se tienen 4 diferentes casos de análisis con sus réplicas en condición húmeda.

Tabla 9. 1. Casos de análisis para modelos de deterioro

Caso	Espesor de MAC	Tipo de base
Caso 1	Capa delgada (6 cm)	Base granular
Caso 2	Capa delgada (6 cm)	Base estabilizada
Caso 3	Capa gruesa (12 cm)	Base granular
Caso 4	Capa gruesa (12 cm)	Base estabilizada

Para este proyecto se generó la siguiente ecuación, la cual consiste en una función de daño para mezclas de laboratorio. En dicho modelo debemos interpretar el daño como una pérdida de rigidez en la mezcla asfáltica, producto de las repeticiones de carga y asociado a la fatiga del material.



$$\omega = 0.18941 * \beta_1 * MN^{0.2707 * \beta_2} * \left(\frac{\varepsilon}{200}\right)^{1.0696 * \beta_3} * \left(\frac{E}{3000}\right)^{0.53480 * \beta_4} * e^{0.03517 * T * \beta_5}$$

Donde,

ω = daño en la mezcla asfáltica en caliente (MAC).

MN = millones de ESAL.

ε = deformación unitaria a tensión en la fibra inferior de la MAC en $\mu\varepsilon$.

E = módulo elástico de la MAC.

T = temperatura

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$, = constantes de calibración.

La ecuación anterior puede ser despejada para tres condiciones de daño según las condiciones presentes en el Pavelab y revisiones de los datos del HVS. Esto permitió generar 4 modelos de desempeño para mezclas asfálticas costarricenses, que van de la mano a las practicas actuales de construcción en nuestro país.

$$MN = k_1 * \left(\frac{\varepsilon}{200}\right)^{k_2} * \left(\frac{E}{3000}\right)^{k_3} * e^{k_4 * T}$$

Donde,

MN = millones de ESAL.

ε = deformación unitaria a tensión en la fibra inferior de la MAC en $\mu\varepsilon$.

E = módulo elástico de la MAC.

T = temperatura

k_1, k_2, k_3, k_4 = coeficientes de calibración ajustados con datos del HVS.

En las siguientes tablas pueden observarse los 12 modelos generados (4 casos para 3 niveles de daño).

Tabla 9. 2. Coeficientes de calibración final para el caso de capa delgada y base estabilizada

AC1 (6cm y BE)			
Coeficientes	60%	70%	90%
k1	0.040	0.061	0.124
k2		-3.006	
k3		-1.503	
k4		-0.099	



Tabla 9. 3. Coeficientes de calibración final para el caso de capa gruesa y base estabilizada

AC4 (13cm y BE)			
Coeficientes	60%	70%	90%
k1	16.823	25.663	51.089
k2	-2.930		
k3	-1.465		
k4	-0.096		

Tabla 9. 4. Coeficientes de calibración final para el caso de capa delgada y base granular

AC2 (6cm y BG)			
Coeficientes	60%	70%	90%
k1	276.892	425.623	857.887
k2	-2.983		
k3	-1.492		
k4	-0.098		

Tabla 9. 5. Coeficientes de calibración final para el caso de capa gruesa y base granular

AC3 (13cm y BG)			
Coeficientes	60%	70%	90%
k1	371.848	571.913	1153.827
k2	-2.987		
k3	-1.494		
k4	-0.098		

Como parte del proceso de validación de modelos se han realizado análisis de sensibilidad de los modelos, para condiciones fuera de los escenarios de calibración y mejorar la predicción de estos. En las siguientes tablas se muestran algunos de los datos obtenidos y el comportamiento de dichos modelos ante diferentes rangos de deformación.



Tabla 9. 6. Resultados los modelos con BE y 90% en la MAC, para diferentes rangos de deformación

MAC 6 cm Base Estabilizada				MAC 13 cm Base estabilizada			
Parámetros del modelo 90%		Resultados		Parámetros del modelo 90%		Resultados	
Temperatura	22	ϵ	MN	Temperatura	22	ϵ	MN
Módulo	3500	10	90.7	Módulo	3500	60	166.4
		15	26.8			65	131.6
Coeficientes	90%	15.3	25.3	Coeficientes	90%	70	105.9
K1	0.124	20	11.3	K1	51.012	75	86.5
K2	-3.006	25	5.8	K2	-2.930	78.4	76.0
K3	-1.503	30	3.3	K3	-1.465	80	71.6
K4	-0.099	35	2.1	K4	-0.096	85	60.0
		40	1.4			90	50.7
Valor Calibrado	15.30			Valor Calibrado	78.4	95	43.3
Rango	10-40			Rango	40-100	100	37.2



Tabla 9. 7. Resultados los modelos con BE y 90% en la MAC, para diferentes rangos de deformación

MAC 6 cm Base granular				MAC 13 cm Base granular			
Parámetros del modelo 90%		Resultados		Parámetros del modelo 90%		Resultados	
Temperatura	22	ϵ	MN	Temperatura	22	ϵ	MN
Módulo	3500	253	39.1	Módulo	3500	168	178.6
		263	34.8			178	150.3
Coeficientes	90%	273	31.1	Coeficientes	90%	188	127.7
K1	857.9	283	28.0	K1	1,153.827	198	109.4
K2	-2.98	293	25.2	K2	-2.987	208	94.4
K3	-1.49	303	22.8	K3	-1.494	218	82.0
K4	-0.10	313	20.7	K4	-0.098	228	71.7
		323	18.9			238	63.1
Valor Calibrado	353.0	333	17.2	Valor Calibrado	268.000	248	55.8
A cada (microstrain)	10	343	15.8	A cada (microstrain)	10	258	49.6
		353	14.5			268	44.3
		363	13.3			278	39.7
		373	12.3			288	35.7
		383	11.3			298	32.2
		393	10.5			308	29.2
		403	9.7			318	26.6
		413	9.1			328	24.2
		423	8.4			338	22.1
		433	7.9			348	20.3
		443	7.3			358	18.6
		453	6.9			368	17.2

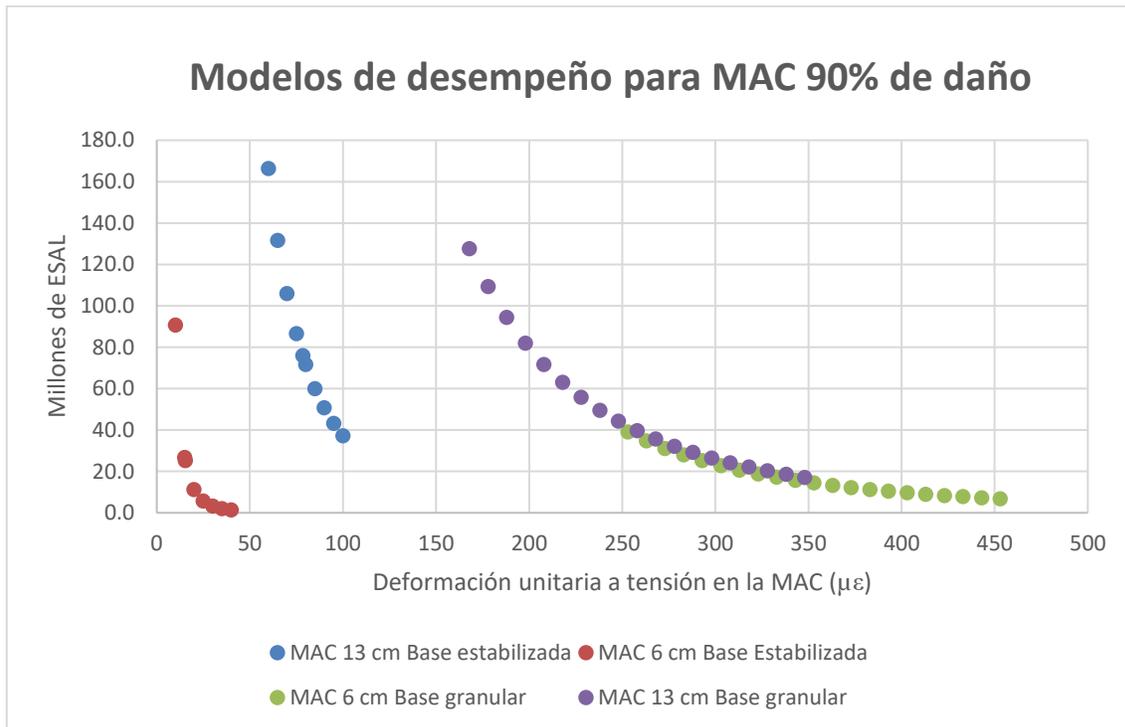


Figura 9. 3. Resultados de los modelos para 90% de daño

9.3. Ensayos acelerados de carga sobre pistas a escala natural de pavimento.

Objetivo: Ensayo de diversos tramos de pavimento en forma acelerada mediante el uso del Simulador de Carga Pesada (HVS por sus siglas en inglés) dentro del PaveLab.

La presente etapa del proyecto consiste en la recolección de información referente al desempeño que presentan las estructuras de pavimento ante la aplicación de cargas. Mediante el uso del equipo HVS se aplican de forma repetitiva cargas para simular el paso de vehículos. Se utiliza la instrumentación especializada para documentar el comportamiento (desempeño) de los diferentes componentes de la estructura de pavimento, y la forma gradual en que estos van perdiendo capacidad de llevar las cargas. Previamente a este avance se han concluido los diez tramos iniciales, 001 al 010.

Durante el periodo en referencia se desarrolló el ensayo del tramo 010AC4 B, en cual constituye el primer tramo ensayado bajo condiciones de alta temperatura. Para esta condición se utilizó la cámara climática.



Figura 9. 4. Proceso de ensayo del tramo 010AC4B

Se inició el ensayo del tramo 011ADQ para el segundo semestre de 2018, ensayo que se constituyó en el primero de 4 ensayos en adoquines (011 a 014), que se desarrollaron de buena forma y concluyeron el primer semestre de 2019.





Figura 9. 5. Proceso de ensayo del tramo 010AC3H

Para mayo de 2019, se han alcanzado 10,6 millones de repeticiones de carga mediante el paso de las llantas de ensayo. Considerando la forma en que aumenta la carga durante los procesos de ensayo se han alcanzado 75,9 millones de ejes equivalentes en los diferentes tramos de ensayo.

Se ha separado y retirado el equipo de ensayo, estando próximo el inicio de la demolición y construcción de futuras estructuras a ser ensayadas. Se espera el reinicio de ensayo para el segundo semestre de 2019.

9.4. Evaluación del desempeño de pavimentos asfálticos en el largo plazo

Objetivo: Evaluar el comportamiento y deterioro de pavimentos en el campo, a lo largo de su vida útil.

El proyecto continúa con la recolección de información de campo, ensayos de laboratorio, procesamiento de la información y programación de herramientas para el manejo de la información.

La recolección de información en campo durante un extenso período de años es un elemento fundamental en el desarrollo del proyecto. En este sentido se ha reforzado la realización de ensayos de campo, a fin de contar con información adicional de cada uno de los tramos.



Figura 9. 6. Recolección de información en campo

De igual manera se continúa con la recolección de información de PCI para cada uno de los tramos. Lo que permite complementar la información generada con los ensayos de campo, así como aportar la perspectiva de personal calificado en la evaluación visual de pavimentos. En la siguiente figura se puede observar la evolución del tramo 4, ubicado en Paraíso de Cartago.

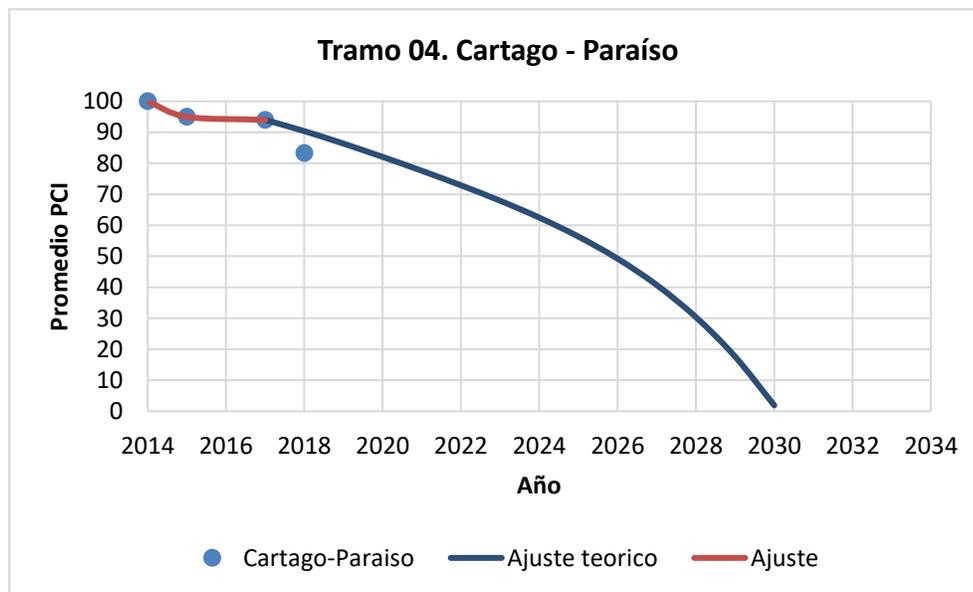


Figura 9. 7. Curva PCI tramo 4, Paraíso-Cartago

Se continúan los esfuerzos por fortalecer la base de datos programada, vía web donde se está almacenando la información que se genera. Se han realizado múltiples esfuerzos por mejorar el almacenamiento de información y como esta se vincula entre sí, se añadió un módulo para paquetes estructurales que permite dar trazabilidad a cambios en la estructura conforme avanzan las mediciones.



Esto permite poder ligar cambios en las variables de IRI, FWD y PCI a intervenciones realizadas en la ruta.

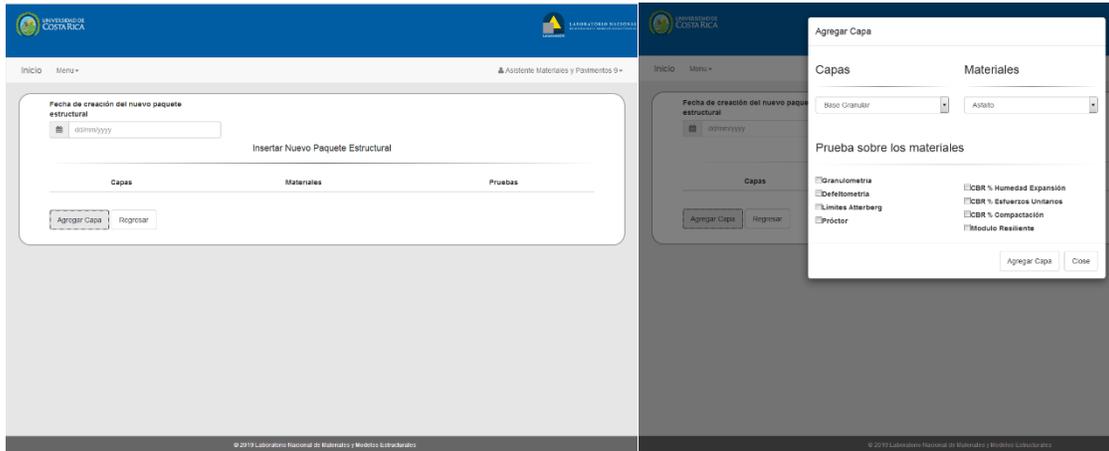


Figura 9. 8. Cambios en la interfaz de paquete estructural

La instrumentación del tramo 20 ubicado en Cañas-Liberia continua en proceso de captura de datos de forma anual. En este sitio siguen instalados los sensores de presión, deformación y temperatura, de manera que se pueda dar seguimiento al comportamiento de la estructura con instrumentación en el interior de las losas de concreto.

Como parte del proceso de investigación y desarrollo, también se instaló instrumentación en una estructura de pavimento flexible nueva, ubicada en la pista de rodaje “Bravo” en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, esto complementa el proyecto actual de instrumentación y captura de datos en la puerta de abordaje 3, el cual corresponde a un pavimento rígido. Todo esto como parte de un trabajo realizado en conjunto con AERIS y el LanammeUCR.

Este trabajo permite que se pueda registrar el comportamiento de la estructura colocada, medir la respuesta que inducen las cargas de las aeronaves y como se transmiten los esfuerzos generados en la estructura. Con la ventaja que ahora se podrán realizar mediciones en pavimento rígido y flexible. A continuación, algunas fotografías de proceso de muestreo, instrumentación y verificación de sensores en la pista de rodaje Bravo.



Figura 9. 9. Recolecciones de muestras pista de rodaje Bravo AIJS



Figura 9. 10. Instalación y protección de galgas extensiométricas en primera capa de MAC

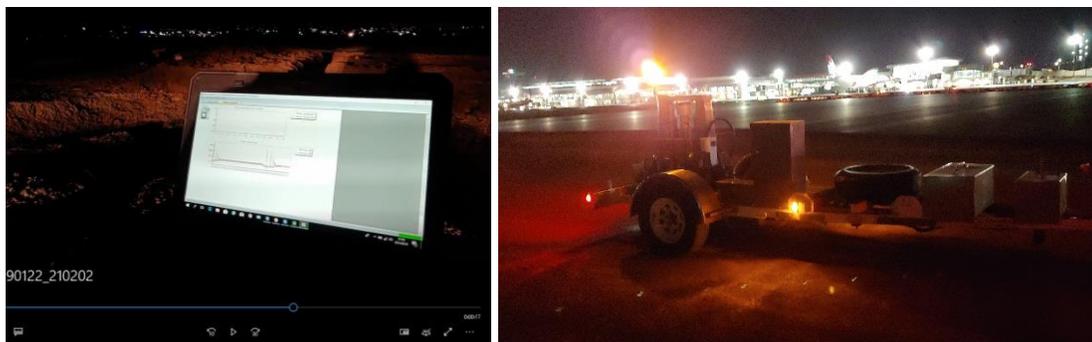


Figura 9. 11. Verificación nocturna de sensores utilizando el FWD del LanammeUCR

En el 2018 entró en operación el tramo 26, ubicado en Abundancia-Florencia (Ruta Nacional 35), con esto se dio por iniciada la etapa de monitoreo en este tramo, la cual comenzó con una prueba de carga realizada sobre la zona instrumentada, utilizando un Vagoneta cargada (vehículo categoría C3) y con peso conocido, en las siguientes imágenes puede observarse el proceso de pesaje, el paso de la vagoneta sobre la zona instrumentada y algunos resultados obtenidos en esta medición.



Figura 9. 12. Pesaje de vagoneta antes de la prueba de carga



Figura 9. 13. Paso de la vagoneta sobre zona instrumentada

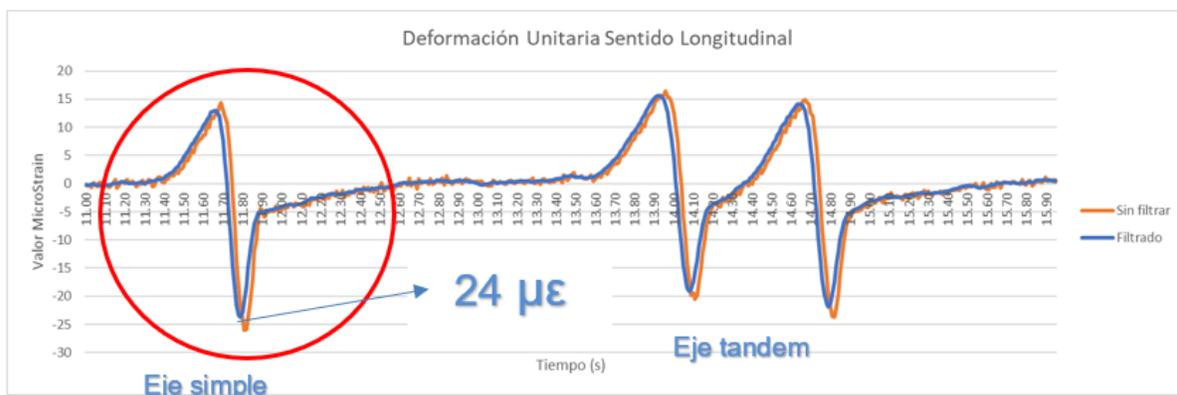


Figura 9. 14. Ejemplo captura de datos vehículo C3

Para mejorar la captura de datos en campo se ha adquirido un nuevo equipo de la marca Campbell Scientific, el cual posee una mayor resolución, permitiendo mejorar la captura de datos en pavimentos

que por su rigidez emitan una respuesta muy baja, como en el caso de los pavimentos rígidos o semirrígidos. Con este equipo se pueden realizar mediciones en tiempo real de forma automática y los datos puede ser comunicados vía internet, lo cual permite mayor versatilidad en los múltiples proyectos que se ejecutan.

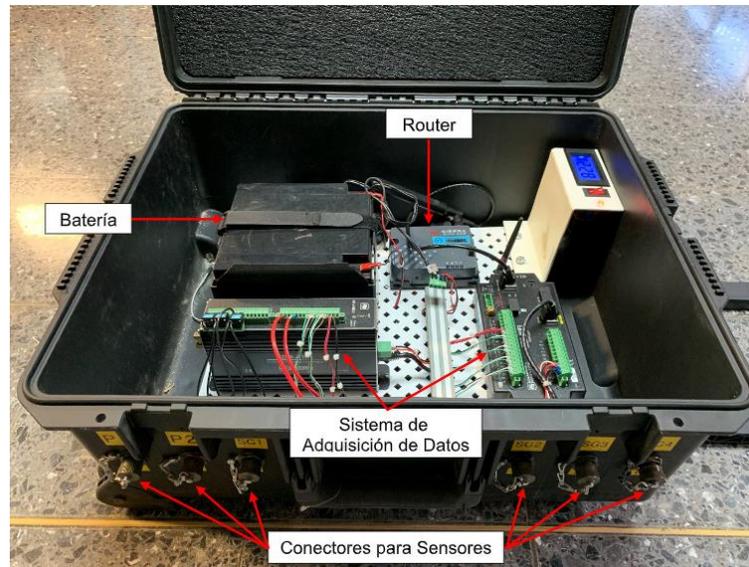


Figura 9. 15. Sistema de adquisición de datos en campo, con posibilidad de comunicación remota

9.5. Desempeño de la demarcación vial horizontal en Costa Rica

Objetivo: Analizar el desempeño de diferentes sistemas de demarcación horizontal de uso en Costa Rica a través de la variación del parámetro de retrorreflectividad, ante diferentes condiciones de tránsito vehicular, condiciones climáticas, geometría de la vía, sección transversal, entre otras, tanto a través de mediciones y estudios en carretera, como a partir del efecto de desgaste del Simulador de Vehículos Pesados (HVS).

Las condiciones topográficas y climatológicas de nuestro país realzan la necesidad de contar con vías adecuadamente demarcadas, con materiales de alta calidad y durabilidad, con el fin de disminuir el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito. Este proyecto de investigación forma parte del desarrollo de especificaciones técnicas que el PITRA-LanammeUCR está realizando en diversos temas del área vial. El resultado de este estudio irá complementando las normas que ha desarrollado el comité CTN 11 de INTECO para asegurar la calidad de los materiales de demarcación vial horizontal; todo ello para que la

Administración pueda mejorar sus carteles de licitación en sus proyectos de demarcación vial y que pueda ejercer el control de calidad adecuadamente.



Figura 9. 16. Medición de retroreflectividad en demarcación vial horizontal

Este proyecto se está desarrollado en etapas, dada la complejidad del tema y los tiempos prolongados de trabajo de campo y toma de mediciones. La primera etapa consistió en medir la retroreflectividad de cinco tramos de carretera en el Área Metropolitana de San José, demarcados con pintura base agua, pintura base solvente y material termoplástico (Figura 9. 16), tanto en color blanco como amarillo, y con microesferas de vidrio Tipo I. Esta primera etapa permitió establecer una línea base para las siguientes etapas del proyecto.

La segunda etapa consistió en analizar la variación de la retroreflectividad de la pintura base solvente y material termoplástico, tanto de color blanco como amarillo, en líneas de prueba con condiciones controladas. Estas líneas se colocaron en la pista de prueba del PaveLab en el PITRA-LanammeUCR, para someterlas al efecto del Simulador de Vehículo Pesado (HVS). A través de las llantas de vehículo pesado la demarcación se sometió a ciclos de carga con carga y velocidad constante, generando así un desgaste de los materiales. Se utilizaron dos retroreflectómetros horizontales, de marcas EASYLUX y DELTA con los cuales cuenta el LanammeUCR. El objetivo de esta etapa es generar curvas de desgaste bajo condiciones controladas de humedad y temperatura.



Figura 9. 17. Líneas de ensayo bajo el efecto del simulador de vehículo pesado (HVS)

La tercera etapa del proyecto consiste en analizar en campo dos variables muy significativas en el desgaste y desempeño de los materiales de demarcación vial horizontal: las condiciones climáticas y el tránsito vehicular. Una primera parte se realizó a través de un trabajo final de graduación de la Escuela de Ingeniería Civil, en donde se analizaron vías demarcadas con pintura base solvente y material termoplástico en tres zonas del país: zona de Guanacaste y Península de Nicoya debido a sus altas temperaturas y baja precipitación; zona Caribe debido a su alta humedad y precipitación; y Valle Central debido a sus condiciones intermedias y a la extensión de la red vial en dicha zona. Una segunda subetapa está en proceso de ejecución, a través del estudio de cuatro tramos experimentales en Heredia con material termoplástico amarillo, el cual se desarrollada en conjunto con las entidades y empresas miembros del comité CTN 11 de INTECO.



Figura 9. 18. Tramos experimentales con material termoplástico amarillo en Heredia



10. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

10.1. Herramienta para diseño Mecánico-Empírico de pavimentos flexibles CR-ME V2

Objetivo: Desarrollar una nueva versión de la herramienta de cálculo para el diseño mecánico-empírico de pavimentos en Costa Rica y países de la región.

Actualmente, se encuentra en desarrollo la nueva versión del CR-ME. Se está traduciendo al lenguaje de JavaFX. Se generaron clases (archivo de Java) para generar el espectro de carga de maneral general y para el nivel de información superior. Estas clases se utilizan para crear objetos que incluyen la información del rango de carga, la carga promedio, el porcentaje y las repeticiones calculadas. Para el nivel de información 1 se modifica esta clase ya que no utiliza el porcentaje debido que para este nivel se cuenta con las repeticiones.

También se desarrolló la clase tráfico para generar las tablas necesarias para introducir la información de tráfico, esta clase se alimenta de las clases de espectro mencionadas anterior mente. En Java para poder iniciar una tabla se debe definir el contenido de esta, con este fin se desarrolló la clase tráfico para inicializar cada una de las tablas para cada eje, en la Figura 10. 1 se muestra la inicialización para el eje trídrem del nivel de información 1.



```
private void initTridemAxle_1() {  
    tridemAxle1500_1 = new Spectrum("1000-1500", 0, 0);  
    tridemAxle3000_1 = new Spectrum("2500-3000", 0, 0);  
    tridemAxle4500_1 = new Spectrum("4000-4500", 0, 0);  
    tridemAxle6000_1 = new Spectrum("5500-6000", 0, 0);  
    tridemAxle9000_1 = new Spectrum("8500-9000", 0, 0);  
    tridemAxle10500_1 = new Spectrum("10000-10500", 0, 0);  
    tridemAxle12000_1 = new Spectrum("11500-12000", 0, 0);  
    tridemAxle13500_1 = new Spectrum("13000-13500", 0, 0);  
    tridemAxle15000_1 = new Spectrum("14500-15000", 0, 0);  
    tridemAxle16500_1 = new Spectrum("16000-16500", 0, 0);  
    tridemAxle18000_1 = new Spectrum("17500-18000", 0, 0);  
    tridemAxle19500_1 = new Spectrum("19000-19500", 0, 0);  
    tridemAxle21000_1 = new Spectrum("20500-21000", 0, 0);  
    tridemAxle22500_1 = new Spectrum("22000-22500", 0, 0);  
    tridemAxle24000_1 = new Spectrum("23500-24000", 0, 0);  
    tridemAxle25500_1 = new Spectrum("25000-25500", 0, 0);  
    tridemAxle27000_1 = new Spectrum("26500-27000", 0, 0);  
    tridemAxle28500_1 = new Spectrum("28000-28500", 0, 0);  
    tridemAxle30000_1 = new Spectrum("29500-30000", 0, 0);  
    tridemAxle31500_1 = new Spectrum("31000-31500", 0, 0);  
    tridemAxle33000_1 = new Spectrum("31500-32000", 0, 0);  
}
```

Figura 10. 1. Inicialización de la tabla de eje trídeme en el nivel de información 1

La interfaz está siendo desarrollada en JavaFX, se programó de manera que cada una de las pestañas es una interfaz individual con su propio controlador, los cuales se insertan en un contenedor general de las interfaces con un controlador general que sirve para la comunicación de los controladores individuales de cada pestaña.

En la Figura 10. 2 se muestra parte de la interfaz para la sección de tráfico, por el momento se tiene el selector de nivel de información y las tablas para la información de tráfico, faltan los campos de texto para la información complementaria requerida cuando aplique. Esta sección se encuentra en desarrollo.



Figura 10. 2. Interfaz de usuario para el ingreso de los datos de tráfico (en desarrollo)



10.2. Herramienta retrocálculo y diseño de sobrecapas en pavimentos. PITRA-BACK V2

Objetivo: Desarrollar una nueva versión de la herramienta de cálculo para el análisis estructural de pavimentos y el diseño de sobrecapas asfálticas.



Figura 10. 3. Interfaz gráfica de usuario

Se han trabajado en las mejoras propuestas, de las cuales tienen un alto grado de desarrollo las que se presentan a continuación: Traducción de la herramienta a JavaFX (70% de avance), Compatibilidad de archivos MDB (Concluido), Posibilidad de guardar y cargar configuraciones de estructuras de pavimento de usuario (30% de avance), Traducción de la herramienta al idioma inglés (70% de avance), entre otros.

Para la traducción de la herramienta, se hizo uso de etiquetas en los archivos *fxml* y la traducción de la herramienta es posible mediante la internacionalización de estas, se puede incluir cualquier idioma, solo requiere la traducción manual del contenido de cada etiqueta.

La herramienta se modificó para la lectura de los archivos de deflectometría en extensión MDB, de manera adicional se incluye una nueva pestaña que presenta los parámetros estructurales: Radio de curvatura, AREA normalizada, Deflexión máxima, BLI, MLI y LLI

La Figura 10. 4 presenta un esquema de los archivos generados para la nueva versión del programa, únicamente algunos de las clases del modelo son heredadas de la primera versión, ya que el paradigma

de diseño original no era del todo compatible con JavaFX, la sección de vista y controlador son totalmente nuevos en el desarrollo de la nueva versión.

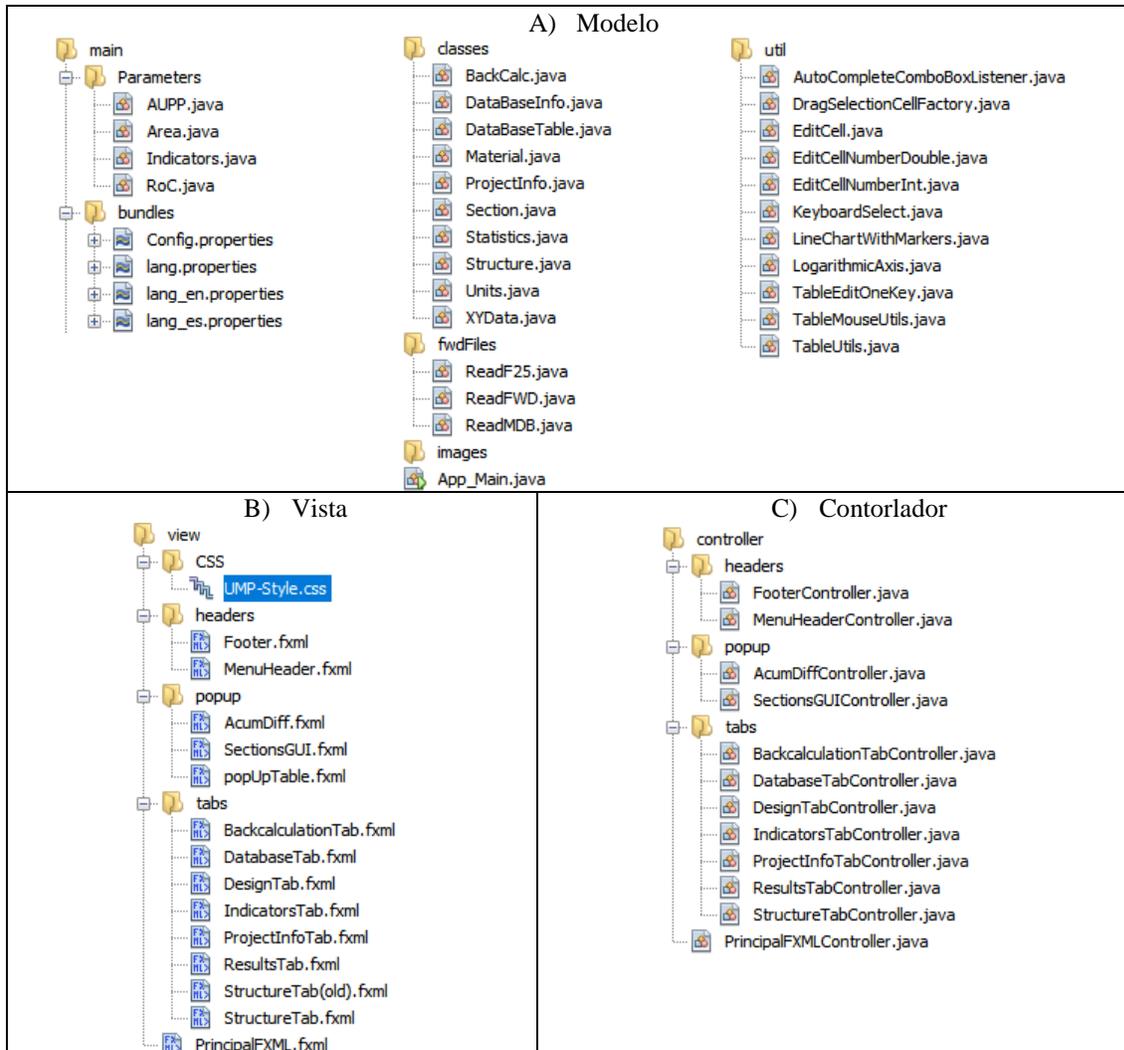


Figura 10. 4. Esquema del desarrollo de PITRA-Back A) Modelo, B) Vista y C) Controlador

La Figura 10. 5 presenta la pestaña de los Parámetros estructurales, son calculados a partir de las deflexiones y para cada caída del deflectómetro, estos gráficos pueden ayudar a determinar la condición estructural del pavimento y también podrían ayudar a decidir rangos de módulos para las capas del pavimento. Además, pueden ayudar a definir secciones homogéneas para el análisis.

Se programó también el método de diferencias acumuladas, con esta información es posible determinar las secciones homogéneas debido a los cambios en las deflexiones. La Figura 10. 6 presenta los resultados del análisis por diferencias acumuladas para las caídas.



Figura 10. 5. Pestaña de Parámetros Estructurales



Figura 10. 6. Ventana de diferencias acumuladas

Las mejoras en las que se trabaja o están pendientes incluyen; pero, no se limitan a:

- Compatibilidad de archivos, F20, HWD y XML para deflectometría.
- Programación de método de solución "radio de curvatura".
- Exportación de salidas en Excel y Word.
- Programación de normalización de datos por temperatura y carga.
- Incluir programación para considerar capa rígida.
- Modificación del retrocálculo para secciones homogéneas.

10.3. Herramienta para cálculo de respuestas en pavimento flexible PITRA-PAVE V2

Objetivo: Desarrollar una nueva versión de la herramienta de cálculo de respuestas que permita analizar casos predeterminados de carga en los puntos de análisis crítico.

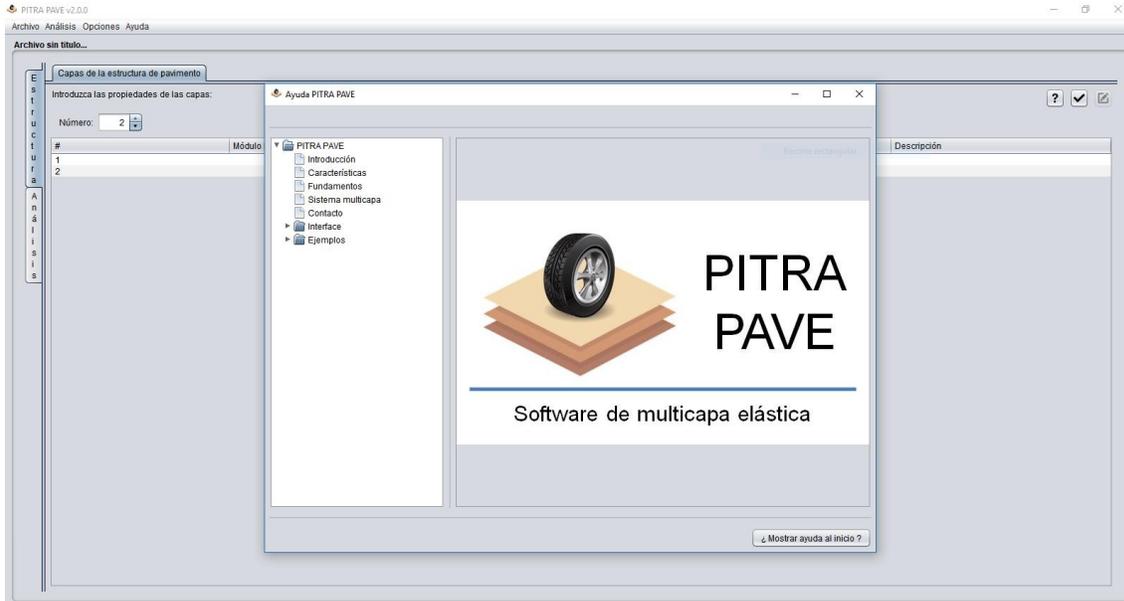


Figura 10. 7. Ventana inicial PITRA PAVE

La segunda versión de PITRA PAVE está lista para la publicación oficial, se encuentra pendiente la revisión del manual de usuario. A continuación, se presenta el control de cambios de las versiones.

VERSIÓN 1.0.0 (Fecha de lanzamiento: septiembre de 2015)

- Análisis estáticos
- Materiales con comportamiento lineal elástico
- Estructuras con hasta 40 capas (ligadas)
- Número de cargas ilimitado
- Cargas de geometría circular únicamente y presión uniforme en las cargas
- Incluye una calculadora de carga para convertir entre carga, presión y radio
- Número de puntos de medición o respuesta ilimitado
- Unidades del sistema internacional (SI) o unidades inglesas (US)
- Incluye una interfaz propia para el despliegue de resultados



- Archivo de salida en formato "csv" compatible con Excel, Numbers, OpenOffice y otros
- Ayuda y Ejemplos
- Compatible con Windows, Mac OS y Linux

VERSIÓN 1.1.0 (Fecha de lanzamiento: diciembre de 2015)

- Precisión numérica mejorada
- Cálculo de esfuerzos y deformaciones principales
- Modo de análisis crítico para ejes preestablecidos

VERSIÓN 2.0.0

- Se realizan cambios menores en la interfaz
- Modo de análisis para casos predefinidos, para ejes en los puntos de análisis recomendados para el diseño M-E
- Resumen de resultados para casos predefinidos
- Casos predefinidos incluyen eje sencillo, eje dual, tándem y trídem

10.4. Herramienta para el cálculo de curvas maestras de módulo dinámico IMODIN V2.

Objetivo: Desarrollar una versión 2.0 de la herramienta IMoDin para el cálculo de curvas maestras de módulo dinámico

La herramienta IMoDin permite construir la curva maestra, que caracteriza el comportamiento dinámico de la mezcla y el asfalto, por medio de diferentes modelos de ajuste por temperatura. A su vez, permite determinar el valor de módulo para un par frecuencia – temperatura específico de diseño.

La primera versión del software fue desarrollada en el 2013 (IMoDin 1.1) como parte de una serie de labores en desarrollo dentro Programa de Infraestructura del Transporte, del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, de la Universidad de Costa Rica; que se dirige específicamente a la definición de la Guía Mecanístico – Empírica de Diseño que permitirá mejorar la calidad del diseño de las estructuras de pavimento de Costa Rica.



El IMoDin 1.1, es una interfaz gráfica de cálculo, que viene a proveer a los diseñadores de pavimentos, una opción sencilla, aplicable, amigable, accesible, y de uso libre, que permite analizar datos de laboratorio del ensayo de módulo dinámico a la compresión uniaxial, y con base en esto, determinar el módulo dinámico particular para cualquier combinación de velocidad de carga y temperatura.

La versión 2.0 del IMoDin posee las mismas capacidades que su versión anterior, sin embargo, se ha mejorado la interfaz general de usuario para que sea más amigable. Además, la versión 2.0 puede instalarse en cualquier versión de Windows 8 o superior con un sistema operativo de 64 bit, a diferencia de la versión 1.1 que requería del software MatLab para correr. Esta segunda versión del software ya se encuentra en el centro de descargas del LanammeUCR para que los usuarios la descarguen de forma gratuita. Actualmente, se trabaja en la resolución de errores, atención de consultas de los usuarios y, en general, en el constante mejoramiento del programa.

	Temperatura (°F)	Frecuencia (Hz)	E* (ksi)
1			
2			
3			

Figura 10. 8. Interfaz para el ingreso de datos en el software IMoDin

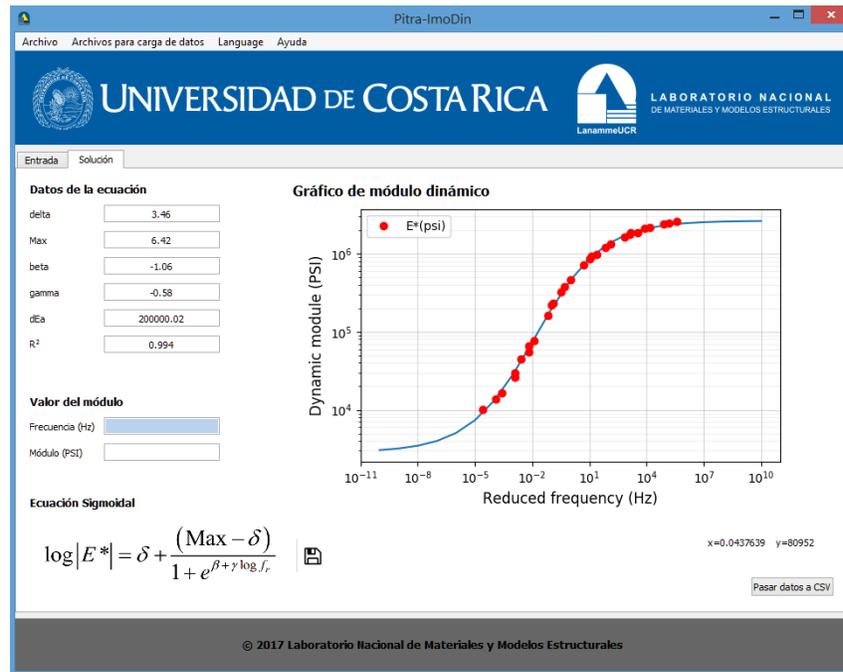


Figura 10. 9. Ilustración de una salida de datos del programa

10.5. Herramienta para creación de bases de datos artificiales a partir de PITRA-PAVE.

Objetivo: Desarrollar una herramienta que permita generar bases de datos artificiales a partir de la teoría de multicapa elástica del PITRA PAVE

Se desarrolló una herramienta que permite la creación de bases de datos artificiales de deflexiones a partir del PITRA PAVE, esto con el fin de generar una base de datos suficientemente amplia para el desarrollo de redes neurales que permita solucionar el retrocálculo mediante multicapa elástica desde un nuevo enfoque; además esto facilitará la investigación de nuevos parámetros para la mejora de los procesos de retrocálculo.



Figura 10. 10. Interfaz Herramienta para bases de datos artificiales

Las mejoras en las que se trabaja incluyen; pero, no se limitan a:

- Incluir el método de espesor equivalente para poder construir bases de datos artificiales con esta teoría.
- Mejoras en el archivo CSV exportado

10.6. Herramienta para unir y limpiar bases de datos de lecturas de Strain Gauge.

Objetivo: Desarrollar una herramienta que permita unir y limpiar bases de datos de las lecturas de Strain Gauge

Esta herramienta se utiliza para pre-procesar los datos de lecturas de un "Strain Gauge" con el fin de limpiar y unir las bases de datos generadas con las lecturas del medidor, ya que es usual que las lecturas superen el valor máximo de datos soportado en una hoja típica de Excel, donde dichos datos son almacenados. La herramienta también se encarga de dividir los archivos cuando la cantidad de líneas supera la capacidad de Excel.



Figura 10. 11. Interfaz Herramienta Strain Gauge

Las mejoras en las que se trabaja incluyen; pero, no se limitan a:

- Mejoras en el archivo CSV exportado
- Mejoras en el manejo de memoria (*“memoryleaks”* con archivos grandes)

10.7. Herramienta para importación de bases de datos a formato F25. DBtoF25

Objetivo: Aumentar los tipos de archivos soportados por la herramienta para importación de bases de datos a F25.

Esta herramienta ha sido muy solicitada para la generación de bases de datos compatibles con el software PITRA BACK utilizando cualquier formato de archivo; el ingreso de datos puede ser manual o desde archivos de bases de datos. Se programó la adquisición de datos desde una base de datos en formato MDB, F25 y FWD. Para el ingreso manual se mejoraron aspectos del controlador de la tabla de datos para facilitar la acción de copiar y pegar datos desde Excel.

Se está trabajando en facilitar la adquisición de datos desde más tipos de archivo. Se logró que los archivos provenientes de esta herramienta también sean compatibles con otros software de retrocálculo como el ELMOD6 y el BAKFAA. Se espera que esta aplicación se incorpore dentro del PITRA BACK,



sin embargo, por el momento se realizará el traslado hacia JavaFX para tener homogeneidad en las herramientas.



Figura 10. 12. Interfaz DBtoF25

Las mejoras en las que se trabaja incluyen; pero, no se limitan a:

- Mejoras visuales (Resize, Colores UCR, Cambio de logos UCR y LanammeUCR)
- Traslado del código a JavaFX
- Compatibilidad de archivos F20, HWD y XML para deflectometría.
- Incorporación de herramienta para la creación e importación de bases de datos en otros formatos al PITRA BACK.
- Traducción de la herramienta al idioma inglés.



10.8. Modelación de carga con el método de elementos finitos (FEM)

Objetivo: Evaluar el efecto de la aplicación de una carga no uniforme sobre una estructura de pavimento

El crecimiento acelerado en la cantidad de vehículos que transitan por la red vial nacional y cantonal de Costa Rica, así como el constante cambio en los tipos de carga que pasan sobre las carreteras, plantea un reto a tomar en cuenta al utilizar los métodos de diseño tradicionales. En este sentido, durante el proceso de diseño se considera generalmente que las cargas aplicadas sobre el pavimento presentan una distribución de esfuerzos de contacto neumático-pavimento uniforme. Lo anterior, forma parte de una serie de simplificaciones o supuestos que son aplicados al realizar un análisis convencional de pavimentos, sin embargo, se ha demostrado que dicha distribución no es uniforme. Por esto, es pertinente comprender más a fondo el efecto de una carga real, y si efectivamente, asumir una carga circular/rectangular con presión uniforme es válido (lo anterior sin dejar de lado la practicidad que se requiere al diseñar una carretera).

En este informe se realiza una evaluación del efecto de aplicar una carga real no uniforme sobre una estructura de pavimento de una sola capa. Para esto se emplean técnicas avanzadas de medición de presiones, utilizando un sensor de presión plano y el Simulador de Vehículos Pesados (HVS) del PaveLab del PITRA LanammeUCR. Además, el análisis se realiza con el método de elementos finitos (FEM), específicamente con un modelo tridimensional elaborado en el software Abaqus.

Para simular la carga real en el software de elementos finitos, se realizaron mediciones de presión con sensores de presión planos en el PaveLab. La huella se genera al aplicar una carga con el neumático del Simulador de Vehículos Pesados sobre los sensores. De este proceso, se obtiene un mapeo de datos que posteriormente se introduce en el modelo. En la siguiente figura se muestra una de las mediciones realizada:



Figura 10. 13. Mediciones realizadas con sensores de presión planos y el HVS

Con los datos de presión se genera una huella de carga que posee una distribución de esfuerzos verticales de contacto no uniforme, tal como se observa en la siguiente figura:

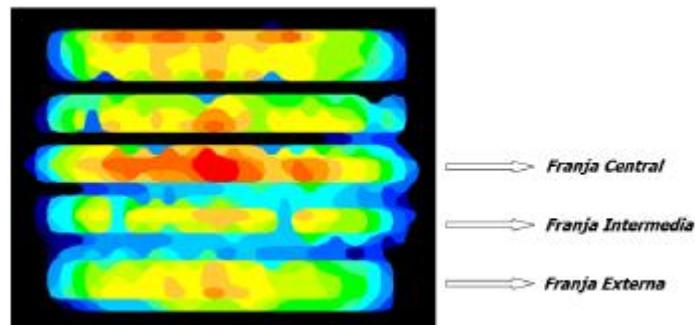


Figura 10. 14. Ilustración de los esfuerzos de contacto verticales medidos en laboratorio

Una vez que se realizan las simulaciones en el modelo computacional de elementos finitos, se realiza un análisis de las diferentes respuestas (deformación unitaria, deflexión, esfuerzo) obtenidas al aplicar una carga circular uniforme y al aplicar una carga real con esfuerzos de contacto no uniformes, para determinar las diferencias entre un tipo de carga comúnmente utilizado para el diseño de pavimentos y una carga real.



Con el análisis se pretende comprender de mejor manera cómo incide una carga real en las respuestas críticas para el desempeño de un pavimento y determinar si suponer una carga circular uniforme es apropiado para el diseño.

10.9. Herramienta de cálculo para el diseño de sistemas de contención vehicular

Objetivo: Desarrollar una herramienta de cálculo en línea para el análisis de márgenes de carretera y diseño de sistemas de contención vehicular.

Un porcentaje alto de los accidentes de tránsito involucran a vehículos que se salen de la vía por diversos motivos. Es por ello que el análisis y diseño de los márgenes de la carretera es crucial en el diseño vial, para reducir la probabilidad de accidentes de tránsito y reducir las lesiones producto de accidentes de tránsito cuando estos ocurran. Un diseño adecuado de los márgenes de la vía es crucial para la seguridad de todos los usuarios.

En Costa Rica, el diseño de los márgenes de las principales carreteras es muy desfavorable, por lo que se aumenta la cantidad y gravedad de los accidentes viales. De hecho, no fue sino hasta el año 2011 que se publicó el primer manual de diseño para Costa Rica, bajo el nombre Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carretera (Valverde, 2011), el cual incluye también todo el proceso de diseño de los sistemas de contención vehicular.

Aún hay mucho desconocimiento sobre el uso de este manual y, claramente, sobre la importancia de realizar un adecuado análisis y diseño. Es por ello que la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR desarrolló una herramienta básica de cálculo en Excel para el análisis de márgenes de carretera y diseño de sistemas de contención vehicular. Sin embargo, en el año 2018, se exploró la posibilidad de llevar esta herramienta de cálculo a una aplicación en línea, que sea de libre acceso a través del sitio web del LanammeUCR.

La aplicación incluye las siguientes secciones: clasificación de taludes, cálculo de la zona libre, cálculo del nivel de contención, diseño de barreras de contención vehicular, diseño de transiciones, evaluación

de cunetas y canales, diseño de barrera en la mediana, elección de terminales de impacto, elección de amortiguadores de impacto y un resumen de resultados.

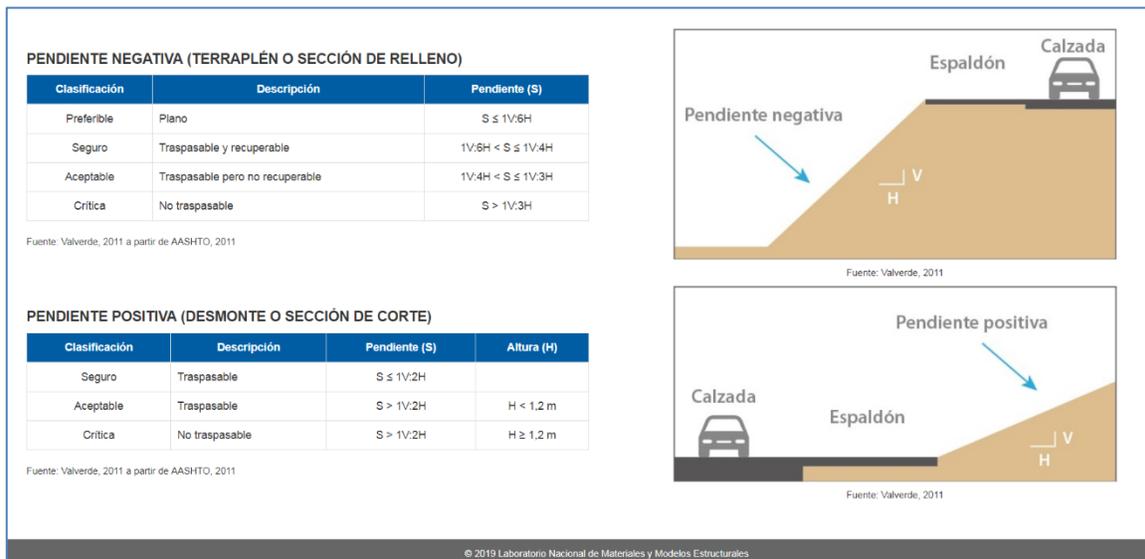


Figura 10. 15. Interfaz para la clasificación de terraplenes y desmontes según su pendiente

Actualmente, el desarrollo de la aplicación se encuentra en la sección de diseño de barreras de contención, con todas las secciones previas prácticamente completas. Cada sección se ha probado desde la interfaz del usuario en varias ocasiones, además permanecen en un estado de constante revisión y mejoramiento. La programación de la aplicación se está llevando a cabo con el uso de Microsoft Visual Studio, empleando una serie de lenguajes de programación como HTML, C# y JavaScript.



11. INGENIERÍA DEL TRANSPORTE Y SEGURIDAD VIAL

11.1. Diagnóstico sobre movilidad ciclista en la Ruta Nacional 21 entre la ciudad de Liberia y la Sede Regional de la Universidad en Costa Rica

Objetivo: Proyectar el impacto social, ambiental y de movilidad de la ciclovía del tramo seleccionado con base a sus condiciones de tráfico actuales.

El proyecto busca ser un estudio preliminar que pueda ser incorporado al proceso de planificación de un tramo de ciclovía desde la intersección de la Avenida 0 y la calle 9 de la ciudad de Liberia y continuando sobre la Ruta 21 hasta las instalaciones de la Universidad de Costa Rica, con base en indicadores relacionados con: la movilidad y el impacto que tendría en la Salud de los usuarios y el Ambiente, con la finalidad de establecer un escenario base en primer lugar, que permita proyectar su impacto y poder establecer posteriormente mecanismos de monitoreo para conocer la efectividad de este tipo de infraestructuras en las esferas técnicas, sociales y ambientales con base en la información obtenida.

El proyecto inicio en marzo del año 2018 y finalizará en febrero del 2020. Los objetivos específicos en el plazo indicado son los siguientes:

1. Describir la movilidad ciclista en el tramo seleccionado.
2. Estimar el impacto de la ciclovía sobre la movilidad.
3. Proyectar y estimar los beneficios sociales de la ciclovía a la ciudadanía.
4. Cuantificar y describir los beneficios ambientales de la implementación de una ciclovía en la ciudad de Liberia.

Actualmente se está realizando un diagnóstico de movilidad en dicha Sede.



Figura 11. 1. Ciclista transitando en la Ruta Nacional Número 21

11.2. Diagnóstico sobre transporte público

Objetivo: Evaluar y planificar el sistema de transporte público especial de la Universidad de Costa Rica, específicamente en la sede Rodrigo Facio, a partir de indicadores sobre el desempeño y calidad de los servicios, específicamente el autobús.

El estudio busca evaluar y planificar rutas de autobuses para centros universitarios, tomando como punto de partida el caso de estudio del servicio de transporte de estudiantes de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica. Por lo tanto, el objetivo específico consiste en evaluar y planificar el sistema de transporte público especial de la Universidad de Costa Rica.

La evaluación se realizó a través de los indicadores sobre el desempeño y calidad del servicio de transporte público, específicamente la modalidad de autobús. A partir de los datos generados en la evaluación del servicio, en conjunto con la distribución de los orígenes de los viajes hacia la universidad, se está planeando mejoras para el sistema existente.



Figura 11. 2. Demanda de transporte público

En los años 2016 y 2017, se emitieron los informes LM-PI-USVT-006-16 Percepción de la calidad del servicio de bus externo de la universidad de Costa Rica y LM-PI-USVT-001-17 Percepción de la calidad del servicio regular de autobuses por parte del estudiantado y personal docente y administrativo de la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, a partir de los datos de la encuesta del 2015. Los informes fueron remitidos a la Oficina de Servicios Generales de la Universidad de Costa Rica y al Consejo de Transporte Público, respectivamente. En el año 2019 se emitió el informe LM-PI-USVT-003-19 actualizando los resultados del servicio regular con los obtenidos en la encuesta del 2018 y comparando los resultados con los cambios del 2015.

Tabla 11. 1. Calificaciones promedio de las percepciones de los usuarios respecto a diferentes aspectos del servicio de autobús regular

Aspecto	Calificación promedio 2015* (n=1508)	Calificación promedio 2018** (n=516)	Cambio 2018-2015
E-7.1 Cantidad de asientos disponibles	6,4	6,3	-0,1
E-7.2 Tarifa	5,7	6,0	+0,3
E-7.3 Limpieza del autobús	5,6	5,6	-
E-7.4 Amabilidad del chofer	6,1	6,2	+0,1
E-7.5 Frecuencia de los viajes de la ruta	5,9	5,9	-
E-7.6 Estado general de los asientos	6,2	6,2	-
E-7.7 Duración del recorrido	5,7	5,8	+0,1
E-7.8 Ruido y vibraciones en el bus	5,1	5,1	-
E-7.9 Ventilación en el autobús	5,2	5,3	-0,1
E-7.10 Forma de conducir del chofer	6,3	6,3	-
E-7.11 Paradas con techo	4,5	4,7	+0,2



E-7.12 Buena iluminación en las paradas	3,9	3,8	-0,1
E-7.13 Comodidad en las paradas	4,0	4,0	-

*La calificación se encuentra en una escala del 1 al 10.

**La calificación se encuentra en una escala del 0 al 10.

11.3. Entorno urbano y movilidad activa

Objetivo: Evaluar las cualidades del entorno urbano para promover la movilidad activa en una muestra de vías de Montes de Oca, en San José, Costa Rica

La movilidad ha sido descrita como uno de los tres principales factores contribuyentes a la huella ecológica en las ciudades y sobre todo en los campus universitarios.

La incorporación de movilidad activa resulta en la protección del ambiente y la disminución de enfermedades originadas por contaminación de aire, así como un ambiente menos saturado de vehículos, calles más seguras y mejoramiento en la condición física de la población.

A través del desarrollo y validación de protocolos confiables para la medición objetiva del tráfico peatonal y ciclista en el área bajo estudio, se buscará construir un modelo predictivo de movilidad activa con base en dimensiones implícitas del entorno, a saber: imaginabilidad, contención, escala humana, transparencia y complejidad. La identificación de los pesos relativos de tales variables para predecir movilidad activa redundará en una toma de decisiones más efectiva a la hora de planear intervenciones en el espacio público para así incrementar dicha movilidad activa y el bienestar de la población.

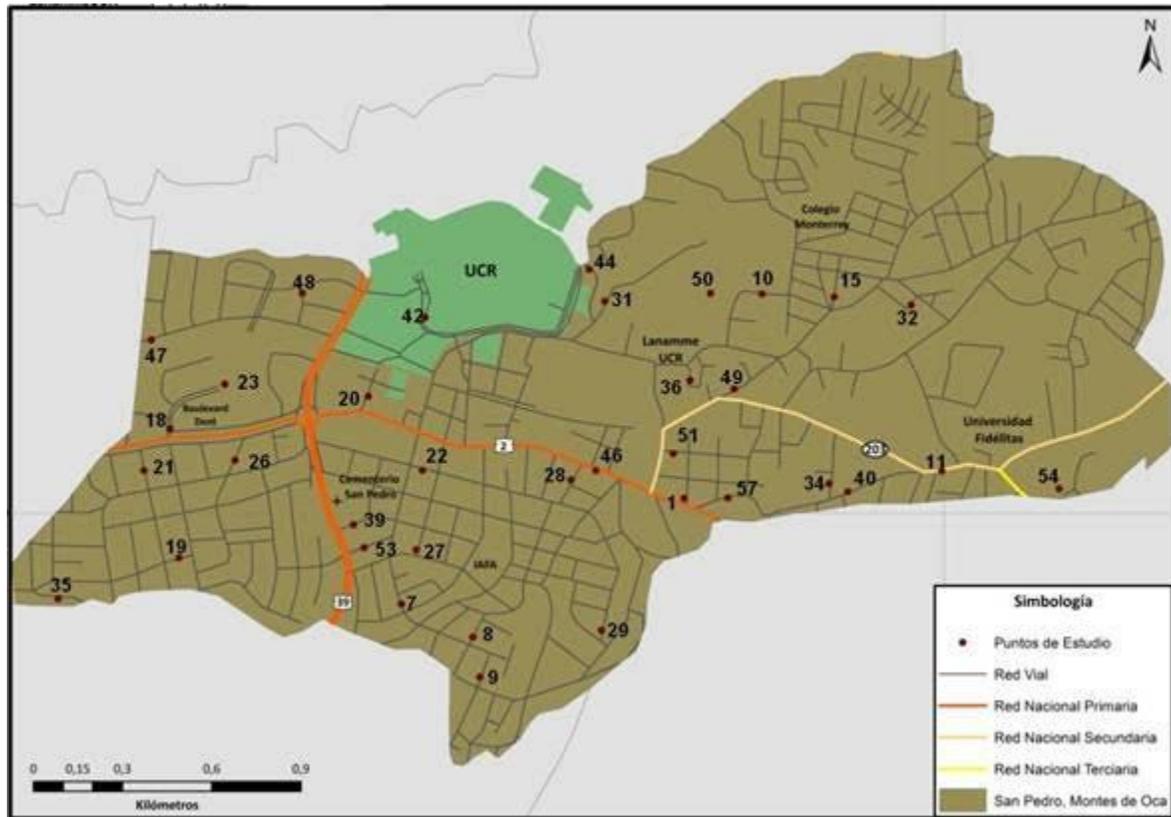


Figura 11. 3. Ubicación de los puntos de estudio en el distrito San Pedro, cantón Montes de Oca

Actualmente, se han aforado peatones y de ciclistas utilizando contadores automáticos y se ha implementado el instrumento de medición de las cualidades del espacio urbano en diferentes puntos del proyecto, y actualmente se está en el proceso de análisis de resultados y redacción del informe final.

11.4. Elaboración de una guía de mantenimiento en campo para sistemas de contención vehicular de uso en Costa Rica

Objetivo: Desarrollar una guía de mantenimiento en campo para sistemas de contención vehicular.

Dentro del tema de seguridad vial, los sistemas de contención vehicular (SCV) constituyen uno de los elementos más importantes debido a su función como uno de los principales reductores de severidad en accidentes por salida de la vía. Por esta razón, resulta de interés que se realice su adecuada instalación y mantenimiento.



En Costa Rica se han desarrollado esfuerzos por establecer lineamientos técnicos para la colocación de estos sistemas conforme lo indica el fabricante, sin embargo, en la práctica estos no se aplican y se recurre a errores que hacen que los SCV pierdan su funcionalidad. A esto se suma la falta de mantenimiento oportuno posterior a un impacto o para prevenir su deterioro por condiciones ambientales; por lo que resulta oportuno generar una herramienta que facilite a los inspectores de SCV en campo identificar deterioros y realizar el procedimiento adecuado de mantenimiento. En la Figura siguiente se observa un ejemplo de un sistema de contención instalado en el país.



Figura 11. 4. Sistema de contención colocado en la Florencio del Castillo

Nota: Fotografía tomada en mayo 2016

En diciembre del 2016 a través de un trabajo de graduación se realizó una primera versión de la guía, la misma se puede considerar como borrador. En mayo del 2018 se presentó el proyecto en el XIV Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. En el 2019 se espera una actualización de la Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras, por lo que posterior a dicha actualización se retomará el borrador de la guía para incluir aspectos que se consideren necesarios.



11.5. Propuesta de criterios para la regulación del uso e instalación de vallas digitales en la red vial de Costa Rica

Objetivo: Proponer los criterios técnicos necesarios para regular el uso e instalación de vallas digitales en la red vial de Costa Rica.

En los últimos años, se ha incrementado el uso de las vallas digitales como medios de comunicación en las carreteras del país. El Ministerio de Obras Públicas y Transportes regula en Costa Rica todo lo referente a la actividad publicitaria en los derechos de vía, tal como el Decreto Ejecutivo No. 2925-3 MOPT, denominado “*Reglamento de los derechos de vía y publicidad exterior*”. En este decreto se proveen los lineamientos para la instalación de vallas, entre los cuales se regulan la instalación, la altura, la distancia, la medida y la visibilidad de las vallas; sin embargo, no hay una definición clara de qué es una valla, y si incluye o no las vallas digitales. Aún con este vacío en la legislación actual sobre la publicidad exterior en carreteras, las vallas digitales han operado en el país aproximadamente desde el año 2010, sin contar con una regulación sobre su uso o instalación.

Desde el punto de vista de la seguridad vial, es fundamental controlar principalmente las condiciones de luz en las vallas digitales, de manera que estas no sean perjudiciales para los usuarios en carreteras. Algunos estudios han demostrado que los conductores tienden a observar las vallas digitales durante periodos de tiempo más prolongados en comparación con otros tipos de anuncios y señales; sin embargo, no se ha demostrado que esto tenga un efecto directo en la seguridad vial.

La luz emitida por la valla puede provocar impactos adversos en el comportamiento y el desempeño de los usuarios, como por ejemplo la dificultad para ver la valla y leer su contenido cuando se alcanzan niveles de luminancia altos, sobre todo durante la noche.

Los equipos que se muestran en las figuras se utilizarán para realizar las mediciones de iluminancia y luminancia, respectivamente.



Figura 11. 5. Equipo para la medición de la iluminancia



Figura 11. 6. Equipo para la medición de la luminancia

A través de este proyecto de investigación se establecieron parámetros de iluminación y otros criterios para un adecuado uso de las vallas digitales, tanto de publicidad exterior como informativas, procurando evitar que estas sean perjudiciales para la visibilidad del conductor y lleguen a constituir un peligro potencial para los usuarios. Con base en los resultados de este proyecto, se incorporaron estos parámetros a la *Guía para la ubicación y regulación de vallas publicitarias e informativas en las márgenes de las rutas nacionales*, para lo cual se conformó una comisión por parte de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT-MOPT), el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) y el PITRA-LanammeUCR.



Figura 11. 7. Contraste lumínico de vallas digitales de publicidad exterior en el derecho de vía, de día y de noche, esquina noreste de parque La Sabana, inicio de autopista General Cañas



11.6. Análisis de programas de microsimulación

Objetivo: Analizar la funcionalidad de programas relacionados a la micro simulación del tránsito multimodal

En Costa Rica la tendencia a nivel de análisis del tránsito se reduce a los vehículos y a la metodología determinística del Highway Capacity Manual (HCM). Esta metodología se aplica por medio del programa Synchro, sin embargo, la metodología del HCM no es válida en vías congestionadas, condición en la que típicamente es utilizada.

Dadas las deficiencias en la capacidad técnica a nivel de análisis del tránsito y sus diferentes actores, se realiza una guía para documentar el uso del programa Simtraffic, complemento para micro simulación del programa Synchro, así como el programa Traffic Software Integrated System conocido por sus siglas TSIS.

Sumado a las guías de uso, se realiza un proyecto de investigación en el cual se compararán los programas Synchro, Simtraffic y TSIS en los alrededores de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica.

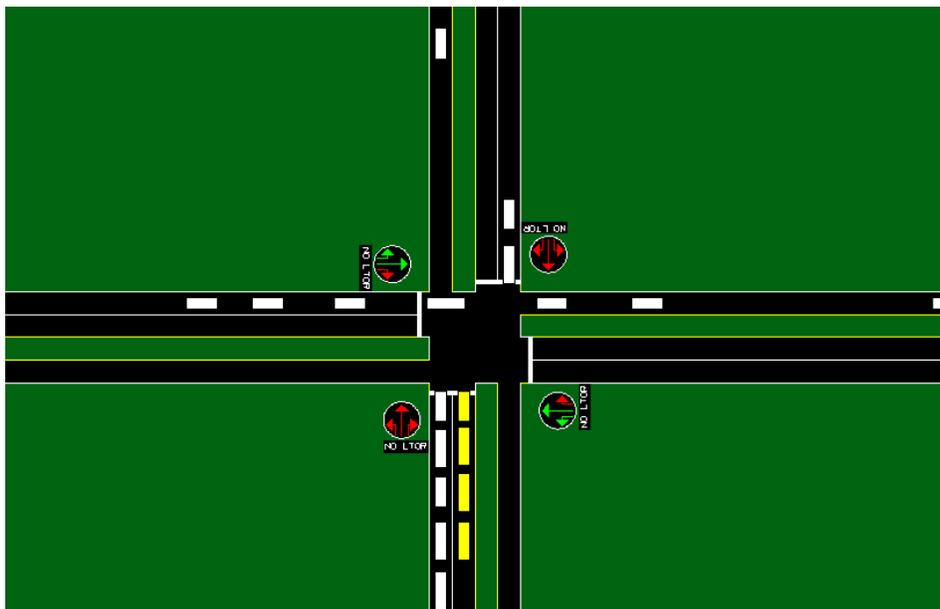


Figura 11. 8. Ejemplo de simulación de intersección semaforzada en TSIS



11.7. Comprobación de mediciones de flujos vehiculares, ciclistas y peatonales mediante equipos de medición automática

Objetivo: Cuantificar el error de medición de flujos vehiculares, ciclistas y peatonales de los equipos de medición automática presentes en el LanammeUCR

Para el análisis y diseño de la infraestructura vial, es de vital importancia conocer el flujo de los distintos usuarios y variables que permitan caracterizarlos, sin embargo, los equipos de medición automática cuentan con limitaciones o condiciones específicas de uso que deben respetarse, con el fin de reducir el error tanto de la medición como de la clasificación o post procesamiento que realice el equipo.

Dada la importancia de los conteos vehiculares, se inició la comparación de los equipos tipo hidráulicos de conteo vehicular, de las marcas Metrocount y Picocount, así como su validación contra conteos manuales efectuados mediante el uso de cámaras de video.

A nivel de errores se registran errores de conteo globales, asociados a la diferencia simple entre el valor total de vehículos registrados mediante el video y los dos equipos, sumado al error de clasificación vehicular, que corresponde a errores en el equipo o en los perfiles de ejes que utiliza el equipo para clasificar los distintos vehículos que transitan en el país.

En la siguiente tabla se evidencian los datos generados mediante la comparación de un único sitio, en el cual se evidencia un error de 30,04% en el conteo general al utilizar el equipo Picocount, subrepresentando el flujo vehicular. Sumado al error de clasificación que alcanza valores de 32,80%.

Tabla 11. 2. Comparación de conteos vehiculares con equipo Metrocount y Picocount

Equipos de prueba	Video	Metrocount	Picocount
	Control	1	2
<i>Sentido</i>	AB	AB	AB
<i>Volumen (vehículos)</i>	6321	5850	4422
<i>Error conteo global (%)</i>	-	-7,45%	-30,04%
<i>Diferencias en clasificación vehicular (vehículo)</i>	-	757	2073
<i>Diferencias en clasificación vehicular (%)</i>	-	11,98%	32,80%



Al evidenciarse la problemática, se realizarán comparaciones en condiciones distintas, así como con los equipos de conteo ciclista y peatonal.

11.8. Diagnóstico de la utilización de puentes peatonales en la GAM, Costa Rica

Objetivo: Realizar un estudio de la utilización de puentes peatonales en la Gran Área Metropolitana a partir de un enfoque cuantitativo y cualitativo con el fin de determinar las principales variables y características de la población y del entorno que deben ser consideradas y analizadas para la ubicación y diseño de nuevos puentes peatonales que satisfagan las necesidades de movilidad de los usuarios potenciales.

Los accidentes de tránsito con una de las principales causas de muertes y lesiones graves en el mundo, y por ello, desde el año 2005 se consideran un problema mundial de salud pública. Uno de los principales usuarios de una vía es el peatón, debido a su alta vulnerabilidad. Datos del Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) evidencian que más de un 20% de las muertes viales en Costa Rica son peatones, en promedio entre los años 2012-2017. Son muchas las causas asociadas a estas muertes, desde conductas imprudentes por parte de los mismos peatones hasta la falta de infraestructura y otras condiciones seguras para las personas a pie en nuestras vías.



Figura 11. 9. Puente peatonal contiguo a centro comercial Multiplaza, Escazú, San José

Dado que en el país no se cuenta con especificaciones y guías de diseño claras para analizar la viabilidad de los puentes peatonales a la luz de las necesidades de movilidad de las personas, surge así la necesidad de cuantificar, como primer paso, la tasa de utilización de un determinado puente peatonal, con el fin de

Informe LM-PI-UMP-R-001-19	Fecha de emisión: Junio 2019	Página 96 de 118
----------------------------	------------------------------	------------------



poder contar con datos base para la toma de decisiones. A partir de la georreferenciación de todos los puentes peatonales dentro de la Gran Área Metropolitana, principalmente entre Alajuela y Cartago, se escogieron los puentes de estudio. En dichos puentes se realizaron conteos, pero también se analizaron diferentes características del puente y de su entorno, entre ellos: las aceras contiguas al puente y su continuidad, las escaleras y/o rampas (ancho, superficie, barandas, pendientes máximas, etc.), el estado del puente (limpieza, olores, etc.), el ascensor (en caso de haber), la malla de protección, los obstáculos en el trayecto, la iluminación, entre otros aspectos. Asimismo, se analizó el uso del suelo alrededor del puente y los posibles orígenes y destinos, incluyendo las paradas de autobús cercanas a estos puentes.

En una tercera fase del trabajo de campo, se escogió el puente con mayor tasa de desuso para realizar una encuesta a los usuarios y vecinos de la zona, con el fin de proponer un modelo que ayude a explicar las razones de uso y desuso del puente peatonal y entender los factores y riesgos asociados.

Este proyecto busca cuantificar el uso actual de los puentes peatonales en Costa Rica y analizar los factores que influyen en su utilización, todo ello con el fin de realizar recomendaciones puntuales para la ubicación y diseño de futuros puentes peatonales. La solución que se brinde desde la ingeniería civil debe responder a las necesidades de movilidad de las personas, para que la infraestructura sea utilizada correctamente y contribuir con el fin último de disminuir el riesgo de accidentes y lesiones de tránsito.

11.9. Uso del sistema de posicionamiento global (GPS) para determinar la confiabilidad en los tiempos de viaje del sistema de transporte público externo de la UCR

Objetivo: Evaluar y cuantificar la confiabilidad en los tiempos de viaje de los usuarios del servicio del sistema de transporte público externo, modalidad autobús, de estudiantes de la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, a partir de datos de GPS.

El estudio pretende determinar la confiabilidad en los tiempos de viaje de estudiantes que se movilizan en autobús externo entre la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica y diferentes ciudades aledañas, mediante la implementación de índices de desempeño; asimismo, se pretende determinar zonas de conflicto para las rutas seleccionadas.

Las mediciones ya fueron realizadas y actualmente el informe se encuentra en fase de revisión de borrador. Para el caso particular del recorrido Heredia- UCR se tiene como resultados la distribución de

tiempo para diferentes secciones de control que se observa en la figura, donde se observa que la sección de control correspondiente a los alrededores de la universidad sigue siendo uno de los puntos de conflicto del recorrido. Además, se observa un aumento en el tiempo de viaje para la sección de control que comprende la distancia entre Tibás y Santo Domingo de Heredia.

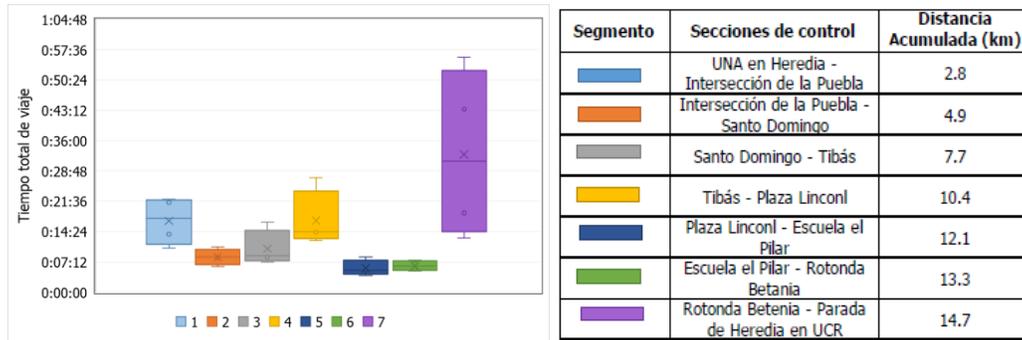


Figura 11. 10. Tiempo de viaje para cada uno de las secciones de control, Heredia – UCR, caso PM pico. Fuente: Chavarría, 2018

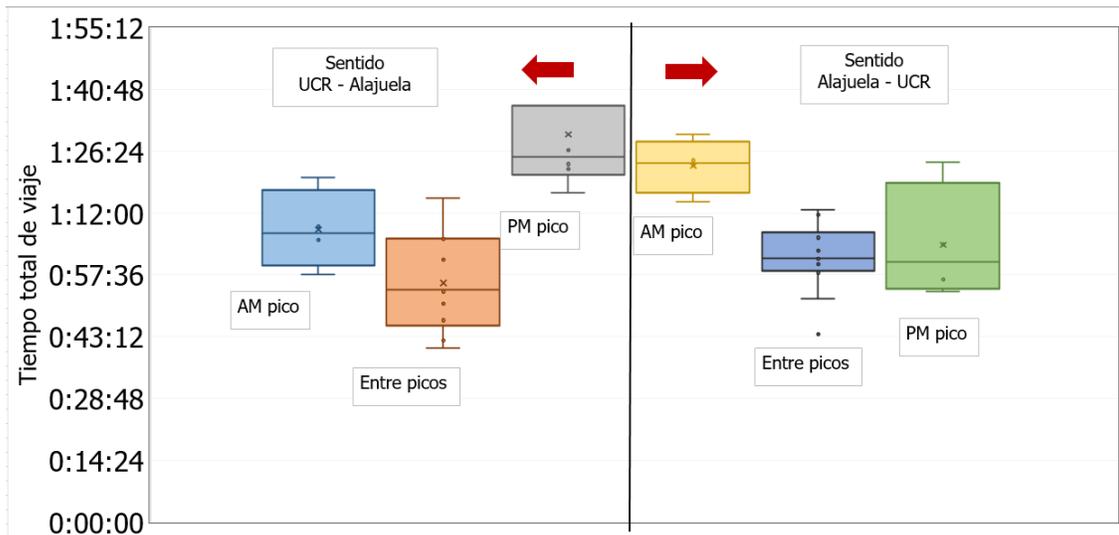


Figura 11. 11. Tiempo total de viaje para la ruta de Alajuela para ambos sentidos. Fuente: Chavarría, 2018

Con los resultados obtenidos se pretende identificar zonas conflictivas y realizar recomendaciones de intervenciones de vías para mejorar el flujo vehicular. El proyecto finalizó con la elaboración de un trabajo final de graduación. Se espera en el futuro el poder aplicar la metodología a autobuses de ruta regular.



11.10. Revisión de modelos para determinar la densidad de flujos vehiculares utilizando contadores vehiculares y vehículos aéreos no tripulados

Objetivos. Determinar las relaciones de velocidad, densidad y flujo en tres trayectos de autopistas de Costa Rica a partir de mediciones directas de estos tres parámetros con el fin de validar las estimaciones y modelos teóricos de flujo vehicular.

Con el objetivo de obtener las relaciones de velocidad, densidad y flujo se realizarán mediciones en tres trayectos de las autopistas General Cañas, Próspero Fernández y Florencio del Castillo. Las mediciones se realizaron con contadores vehiculares y vehículos aéreos no tripulados.

Para cada ruta se obtuvo la variación de la velocidad en función del flujo vehicular, como se observa en la figura, para el caso particular de la autopista Cartago – San José.

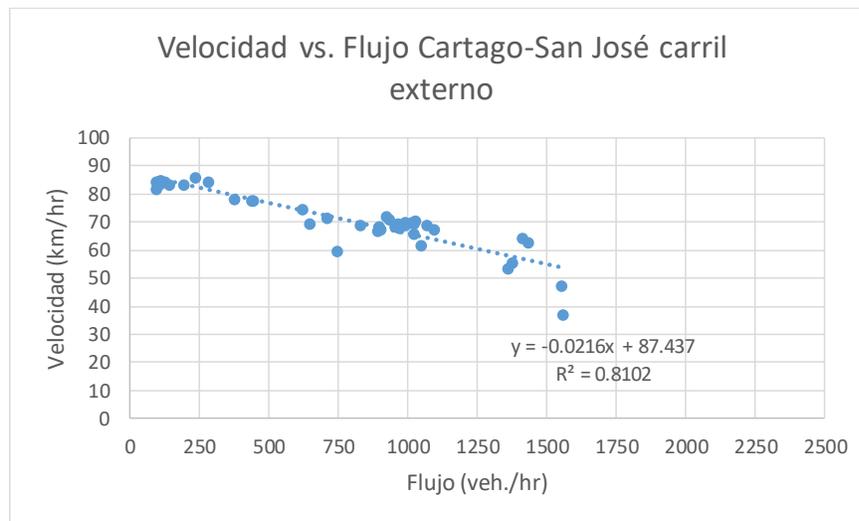


Figura 11. 12. Velocidad vs flujo del carril externo sentido Cartago-San José. Fuente: Robinson, 2018

Además, actualmente en el estudio se están analizando las relaciones de velocidad con la densidad. Con estos datos se hicieron comparaciones de la estimación de la densidad mediante los modelos, respecto a la medición directa en campo.



11.11. Externalidades ambientales, en seguridad vial y en infraestructura del transporte de carga ferroviaria en la zona atlántica costarricense

Objetivos. Evaluar el impacto de la operación del ferrocarril de carga en la zona atlántica de Costa Rica sobre la Ruta Nacional 32 en términos de seguridad vial, infraestructura vial y emisiones, de manera que sirva de insumo teórico para los tomadores de decisiones para la optimización del sistema de transporte carga

Este proyecto tenía como finalidad analizar el impacto en emisiones de CO₂, la cantidad de choques y el deterioro del pavimento en la Ruta Nacional 32 ocasionado por el cambio de modo de transporte de carga.

Al finalizar el estudio, en cuanto a los efectos sobre el pavimento, se concluyó que aumentar la captación de viajes del tren en un 15% generaría un cambio en la cantidad de ejes equivalentes que debe soportar el pavimento en dos órdenes de magnitud. En dicho escenario, la vida útil del pavimento variaría entre 3 y 18 meses, aumentando entre un 2,5% y 15% la vida de diseño, debido a la reducción de fatiga de la carpeta asfáltica, como se visualiza en la siguiente figura.

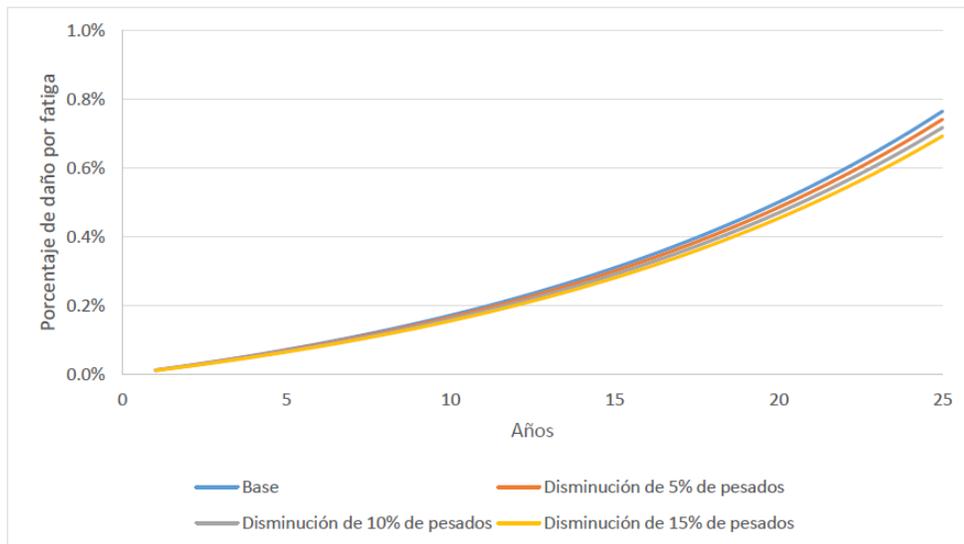


Figura 11. 13. Porcentaje de daño por fatiga para sección 70070

Fuente: Mata, 2018



Se logró caracterizar el transporte de carga en la zona ferroviaria costarricense y los resultados del estudio se encuentran en un trabajo final de graduación y los mismos fueron divulgados en el Congreso Expotecnología 2018.

11.12. Análisis de la movilidad peatonal y caracterización de peatones en Guadalupe

Objetivos. Analizar la movilidad peatonal en el Centro de Guadalupe de Goicoechea con el fin de caracterizar los usuarios de las facilidades peatonales, y sus flujos, en la zona de estudio.

El proyecto consistió en un estudio peatonal en el centro del distrito de Guadalupe, en el cantón de Goicoechea, específicamente el sector comprendido entre avenidas 29 y 33, y entre calles 39 y 67, el sector definido entre avenidas 33 y 35, y entre calles 51 y 53 y el sector definido entre avenidas 33 y 35 y entre calles 65 y 67.

Este estudio caracterizó la población peatonal y la infraestructura peatonal existente, esto mediante la aplicación de encuestas, las cuales constaban de cuatro secciones (observación, sobre los viajes, sobre el usuario, sobre la infraestructura) y conteos peatonales de tres tipos: manuales, automáticos y permanentes (los últimos 2 realizados con el contador automático Eco- Counter).

Como resultados se obtuvo: Caracterización de los usuarios: Se encuestaron 188 personas con edades entre los 13 y 82 años, de las cuales el 53% eran mujeres, el 29% son personas jóvenes (entre los 13 y los 25 años), el 97% vive en San José, del cual, 71 % vive en Goicoechea y el 36% vive en Guadalupe. El 53% de los encuestados cuentan con trabajo, de los cuales el 90% se dedica al sector de ventas y servicios y un 18% son estudiantes.

Caracterización de las aceras: Esta caracterización se realiza para las avenidas continuas al parque de Guadalupe mediante encuestas y utilizando la "Guía de Evaluación de Aceras 2017"; en las encuestas se encontró que 48% consideran que el estado de las aceras es regular y el 46% del total manifestó que siempre encuentran huecos e irregularidades en las aceras.

Caracterización de los viajes peatonales: El 50% de los encuestados indicaron que el motivo de su viaje es hacer mandados y el 24% son por trabajo. Entre las situaciones que los motivarían a realizar más

viajes caminando la principal encontrada es la presencia de más árboles y zonas verdes con un 51%, seguido de un 41% para un lugar iluminado, por otro lado, los encuestados expresan estar desmotivados (51%) por aceras angostas y un 35% se encuentran muy desmotivados al encontrar suciedad durante su trayecto.

Volúmenes peatonales: Se obtienen para los puntos de análisis el tránsito promedio diario, el tránsito promedio diario semanal y el comportamiento horario, además se clasifican en grupos según la similitud en su comportamiento. Se observa que los principales atractores de peatones son los centros de ventas y servicios, destacándose los centros médicos y restaurantes; el comportamiento peatonal cambia entre semana, sábados y domingos, La circulación principal es hacia el este, en dirección al parque de Guadalupe, además de un flujo importante de sur a norte cercano a la escuela Pilar Jiménez.

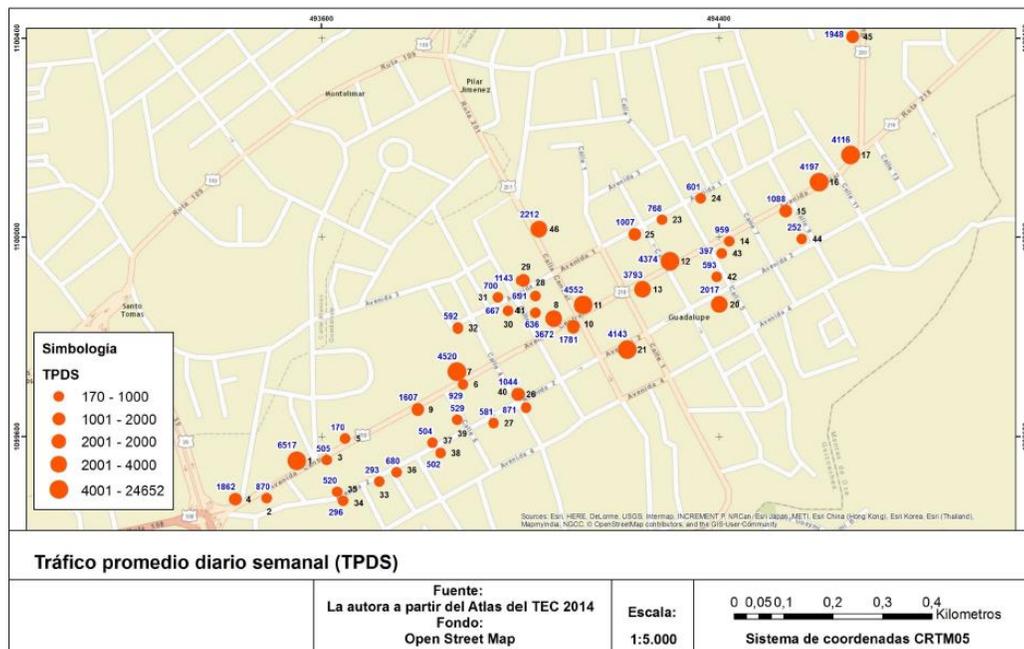


Figura 11. 14. Tráfico promedio diario semanal (TPDS)

Fuente: Fernández, 2017

Los principales resultados de este estudio fueron publicados en un artículo de la Revista Geográfica de América Central: Fernández-Garza, A., & Hernández-Vega, H. (2019). Estudio de la movilidad peatonal en un centro urbano: un caso en Costa Rica. Revista Geográfica de América Central, 1(62), 267-300.



11.13. Tratamientos preferenciales para el transporte público en autobús y su aplicación en intersecciones de la Gran Área Metropolitana.

Objetivos. Evaluar los impactos al utilizar los tratamientos preferenciales carril de salto de cola (Queue Jump) y prioridad de fase para el autobús (PFA o TSP por sus siglas en inglés) mediante un modelo de simulación en algunas intersecciones de la Gran Área Metropolitana.

Este trabajo presenta la posible optimización del transporte de pasajeros en cinco intersecciones de San José mediante la aplicación de ingeniería de transportes. Dicha optimización se hará con la aplicación de dos tratamientos preferenciales para el transporte público en autobús, mediante el uso de un programa de simulación compatible con dichos tratamientos. Los resultados de dicha simulación serán principalmente las demoras promedio por pasajero; dichas demoras serán comparadas en la simulación con y sin el uso de los tratamientos preferenciales. Los datos de la investigación son los conteos vehiculares que se realizaron con la ayuda de cámaras de video en las intersecciones; se obtuvieron las horas pico de la mañana y de la tarde y con ello los volúmenes horarios diferenciados por tipo de vehículo. Se recrearon las intersecciones de acuerdo con la geometría del sitio y se trazaron en el programa Vissim, y los volúmenes se ingresaron en el modelo de simulación. Con el fin de simular el tratamiento preferencial, se agregaron los detectores de autobuses, cuya función es detectar el momento en el que pasa el autobús y con esto modificar las fases del semáforo para beneficiar instantáneamente al autobús. Las estrategias utilizadas para dar prioridad de fase al autobús (PFA) son la extensión del tiempo de verde y la supresión del rojo. En las intersecciones se aprovecharon las bahías de autobuses existentes para poder recrear el salto de cola. En los modelos de simulación creados se detectó que se reducen las demoras promedio por pasajero hasta en un 47 % en cuatro de las cinco intersecciones estudiadas. Únicamente en la intersección de Tibás centro se determinó que no era recomendable utilizar los tratamientos preferenciales. Se determinaron ahorros anuales en tiempo y en combustibles de hasta 33,8 millones de colones. Se determinó que la inversión que se requeriría para el Estado tendría un tiempo de recuperación desde 5 meses hasta un máximo de 19 meses.

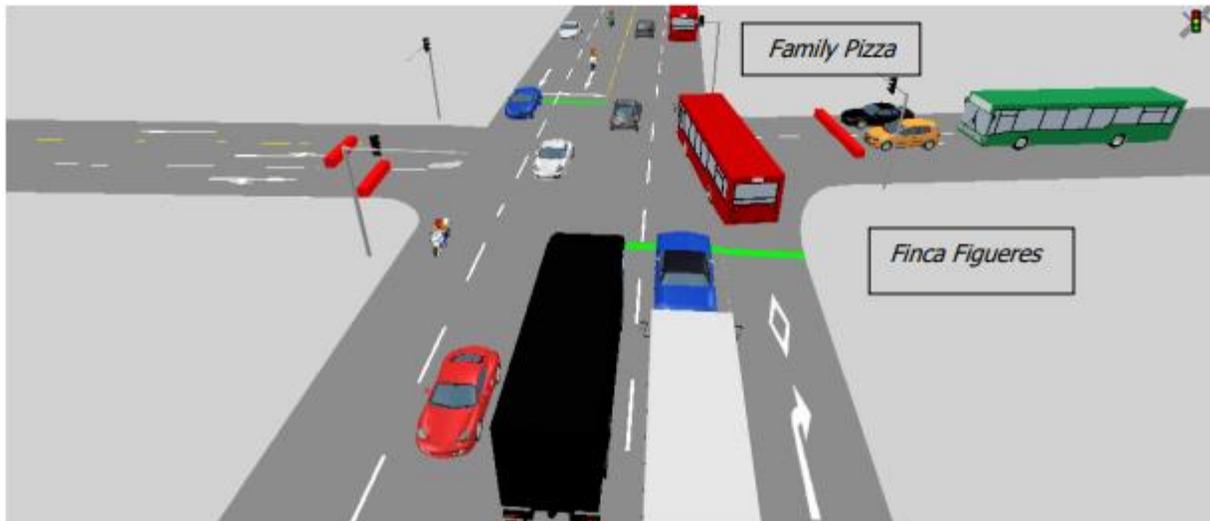


Figura 11. 15. Simulación con carril adicional prioritario para el Transporte Público

Fuente: Rojas (2018)

Los resultados del proyecto se encuentran documentados en un trabajo final de graduación.

11.14. Análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales: Caso de estudio de la sede central del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Objetivos. Elaborar una metodología para realizar análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales, utilizando la sede central del Ministerio de Obras Públicas y Transportes como caso de aplicación para procurar mejoras en la movilidad hacia el centro de trabajo.

Se elaboró una metodología para realizar análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales, utilizando el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) como caso de aplicación, específicamente la sede central ubicada en Plaza González Víquez. Se diseñó y aplicó una encuesta de movilidad a los funcionarios, con el objetivo de conocer los patrones de movilidad y brindar recomendaciones que mejoren la forma de trasladarse hasta el centro de trabajo.

Para la recopilación de la información se aplicó una encuesta electrónica cuyo enlace de acceso fue enviado a través del correo electrónico institucional, se utilizó la plataforma Lime Survey para la creación



de la encuesta. Se estimó una muestra representativa de la población a partir de la cantidad de funcionarios que contaban con cuenta de correo electrónico institucional. Además, se aplicó un cuestionario más corto de forma física, para que, junto con la base de datos de funcionarios activos del MOPT se pudiera validar la información recolectada con la encuesta electrónica y comprobar que la muestra representaba a la población real de funcionarios.

Se obtuvo una tasa de finalización de la respuesta del 51 % con la encuesta electrónica, y fue necesario realizar un ajuste por el sesgo presente en los datos con respecto a la distribución de la base de datos del MOPT. Luego de analizar la información, se logró determinar que, el 50 % de los viajes al centro de trabajo se realizan en automóvil, un 39,5 % utiliza el transporte público, y solo un 3,5 % de los viajes están asociados con medios no motorizados. Dentro de las recomendaciones para mejorar la movilidad se encuentran la realización de talleres de movilidad y el incentivo de medidas como el teletrabajo, carro compartido y la promoción de la bicicleta.



Figura 11. 16. Portal de Internet utilizado en la encuesta

Fuente: Pizarro (2017)



Los resultados del proyecto se encuentran documentados en un trabajo final de graduación. Los resultados se presentaron en una actividad organizada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y se presentó un artículo a consideración para una revista como parte del proceso de divulgación de los resultados.

11.15. Análisis de capacidad de bahías de autobuses en autopistas de la Gran Área Metropolitana.

Objetivos. Analizar la capacidad de bahías de autobuses en carreteras de la Gran Área Metropolitana

La presente investigación analiza la capacidad de las bahías de autobuses en autopistas de la Gran Área Metropolitana, utilizando como casos específicos de estudio las bahías ubicadas frente a Multiplaza Escazú en la Ruta Nacional 27 y frente al Hard Rock Café en la Ruta Nacional 1, estudiando en primer lugar las variables y metodologías de las que depende la capacidad de las paradas de autobús tipo bahía.

Se utilizó la metodología del TCRP (2013) para la determinación de la máxima cantidad de autobuses que pueden arribar a una parada simultáneamente en una hora sin saturarla. Para lo cual se determinaron los valores de intervalo crítico y tiempos de abordaje adaptados a las condiciones de cada una de las bahías estudiadas. Se compararon los valores teóricos con los observados en campo, así como diferentes metodologías de estimación y corrección de datos.

La metodología propuesta por el TCRP (2013) permite el cálculo de la capacidad de las bahías, sin embargo, para que estos datos resulten más representativos es necesario determinar los valores de las diferentes variables de las que depende la capacidad para las condiciones locales del país, además de escoger las metodologías de análisis dependiendo de las características de la bahía y el entorno en el que se encuentre.

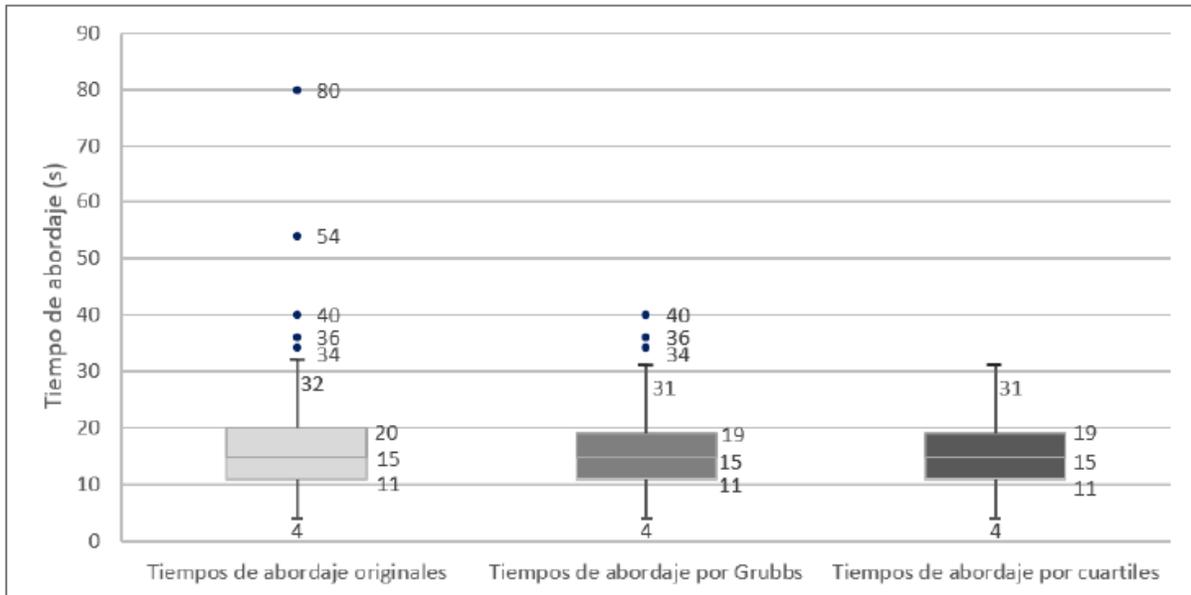


Figura 11. 17. Distribución de tiempos de abordaje

Fuente: Tello (2018)

Los resultados del proyecto se encuentran documentados en un trabajo final de graduación.

11.16. Elementos que inciden en los tiempos de abordaje en rutas urbanas de transporte público colectivo, modalidad autobús, en la Gran Área Metropolitana

Objetivos. Determinar los elementos que inciden en los tiempos de abordaje de pasajeros en rutas urbanas de transporte público para la modalidad autobús, dentro de la Gran Área Metropolitana, con el fin de generar información que permita una mejor gestión del transporte público.

Un componente fundamental para determinar la calidad de servicio y el desempeño de un sistema de transporte público son los tiempos de abordaje y desabordaje de pasajeros, además del tiempo total de parada. Este último se define como el tiempo que tarda un autobús en la parada mientras se lleva a cabo el ascenso y descenso de pasajeros, incluyendo el tiempo de apertura y cierre de compuertas. El poder optimizar un parámetro que directamente afecta el tiempo total de viaje, conlleva a un mejoramiento del sistema de transporte público.

En este trabajo se determinaron los elementos que inciden en los tiempos de abordaje de pasajeros en rutas urbanas de transporte público para la modalidad autobús, dentro de la Gran Área Metropolitana. Esto a partir del uso de modelos estadísticos lineales, además de la iniciativa planteada de implementar para este tipo de análisis los modelos lineales generalizados utilizando la distribución gamma.



Figura 11. 18. Toma de datos mediante cámaras fotográficas

Fuente: Campos (2017)

Los resultados del proyecto se encuentran documentados en un trabajo final de graduación. Actualmente, se está elaborando un artículo académico, que resume los resultados y hallazgos obtenidos.



11.17. Metodología para evaluación de aceras como parte de la gestión de activos urbanos en Costa Rica.

Objetivos. Desarrollar una metodología para evaluar aceras que sirva como un insumo para un sistema de gestión, que contribuya a la priorización y financiamiento de los activos urbanos en Costa Rica.

Este proyecto pretende, con el diseño de una metodología de evaluación, contribuir a la priorización y financiamiento de los activos urbanos de Costa Rica.

Mediante la recolección y revisión de la información disponible relacionada con el tema de las aceras, la infraestructura vial, la accesibilidad y la gestión de activos, entre otros. Esta recopilación de información y su respectivo análisis, permitió desarrollar una encuesta en materia de gestión de activos de transporte; con la cual fue posible entrevistar a 15 municipalidades, seleccionadas de acuerdo con el Índice de Gestión Municipal que emite anualmente la Contraloría General de la República; con el fin de conocer el nivel de gestión de los activos municipales, en específico la gestión de las aceras. A través de la identificación de los vacíos y deficiencias en los sistemas de gestión de las municipalidades obtenidos de las entrevistas y del estudio de manuales de evaluación de aceras a nivel internacional, se realizó la elaboración de la guía que permite evaluar la condición de las aceras. Validándose en nueve tramos diferentes de aceras, en cuatro diferentes municipalidades; evaluando aceras con superficie de concreto y adoquines de concreto.

La evaluación de los activos de transporte, es fundamental en los sistemas de gestión, permitiendo a las instituciones mantener inventarios detallados, identificar deficiencias, carencias y mejorar la distribución de los fondos de acuerdo con las necesidades. El 80% de los encuestados, indicaron contar con sistemas de gestión, sin embargo, desconocen de elementos esenciales para la gestión de activos entre ellos los inventarios y la condición de las aceras de su cantón, contradiciendo su posición.



Figura 11. 19. Toma de datos en campo

Fuente: Vega (2017)

Se presentó el informe INF-PITRA-002-17 Guía de Inventario y evaluación de aceras, publicado en Diciembre del 2017. Además, como parte del proceso de divulgación de la metodología, un artículo fue publicado en la Revista Tecnología del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

11.18. Encuesta de Transporte. Sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica

Objetivos. Caracterizar a los viajes de las personas usuarias de las instalaciones de la Universidad de Costa Rica (UCR).

En el informe LM-PI-USVT-008-2018, se resume de una manera descriptiva los resultados generales de la encuesta de transporte llevada a cabo por el LanammeUCR durante el primer semestre del 2018. El propósito inicial de la encuesta consiste en caracterizar a los viajes de las personas usuarias de las instalaciones de la Universidad de Costa Rica (UCR). Esta caracterización y futuras investigaciones relacionadas con los patrones de viaje, podrían servir de información base para la elaboración de proyectos que mejoren la calidad de los viajes de los usuarios de las instalaciones de la Universidad de Costa Rica. La elaboración de encuestas de movilidad, de una manera periódica en el futuro, permitirá

generar tendencias en cuanto a los patrones y características de los viajes del personal docente y administrativo, así como del estudiantado de la UCR.

Se caracterizaron las conductas de desplazamiento de las personas usuarias de la Universidad relacionado con el tipo de medios de transporte utilizados, los días de la semana en que se viene a la universidad, el tiempo promedio de viaje, y con la distancia desde el lugar de residencia.

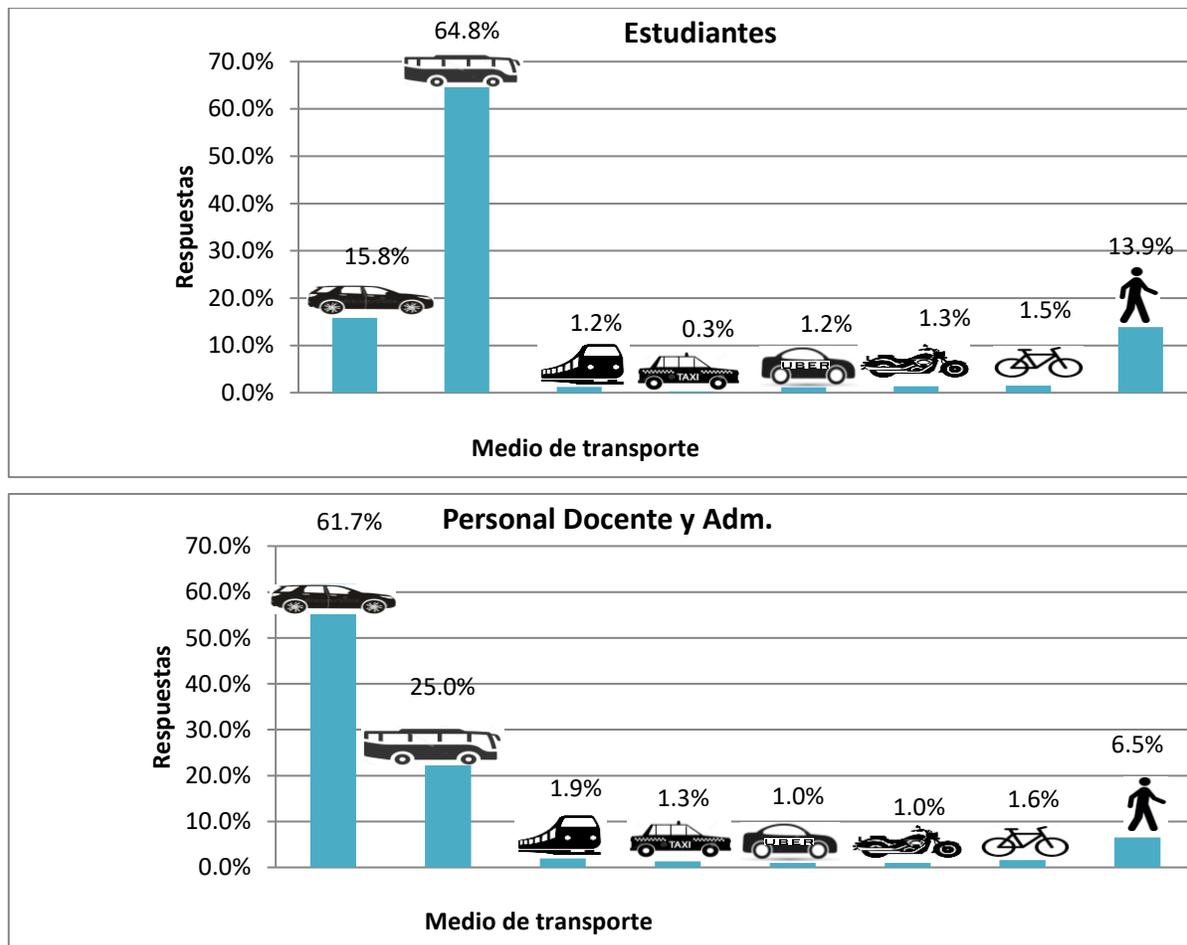


Figura 11. 20. Principales medios de transporte utilizados por tipo de usuario

La siguiente figura presenta que los conductores de vehículos particulares y usuarios del tren utilizan estos medios por razones de rapidez. Las personas que viajan en autobús o caminan prefieren estos medios por economía.

La siguiente figura presenta que los conductores de vehículos particulares y usuarios del tren utilizan estos medios por razones de rapidez. Las personas que viajan en autobús o caminan prefieren estos medios por economía.

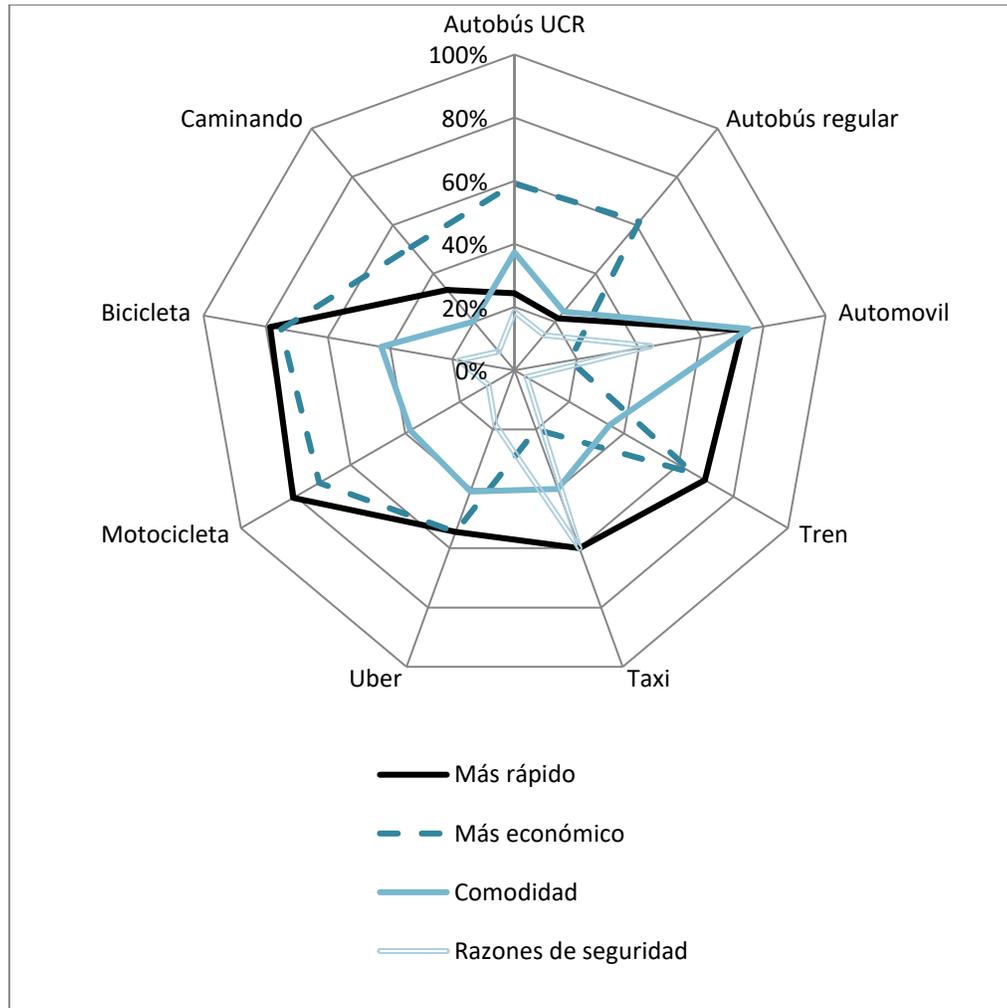


Figura 11. 21. Razones de rapidez, economía, comodidad y seguridad indicadas según la escogencia del modo de transporte

11.19. Mapas de accidentes de los distritos centrales del cantón de Heredia

Objetivos. Generar información geográfica dentro de la zona analizada.

Mostrar gráficamente, por medio de mapas, la representación de diversas maneras de la ubicación de los accidentes en los diferentes distritos del cantón de Heredia en el periodo 2012-2015.

El informe LM-PI-USVT-005-18 muestra los resultados obtenidos durante el proceso de generación de los diferentes mapas de accidentes generados para los distritos centrales del cantón de Heredia a partir de las colecciones de datos con las que cuenta el Observatorio de Seguridad Vial del Consejo de Seguridad Vial (Cosevi). Las colecciones de datos se encuentran disponibles en el enlace <http://datosabiertos.csv.go.cr/home>.

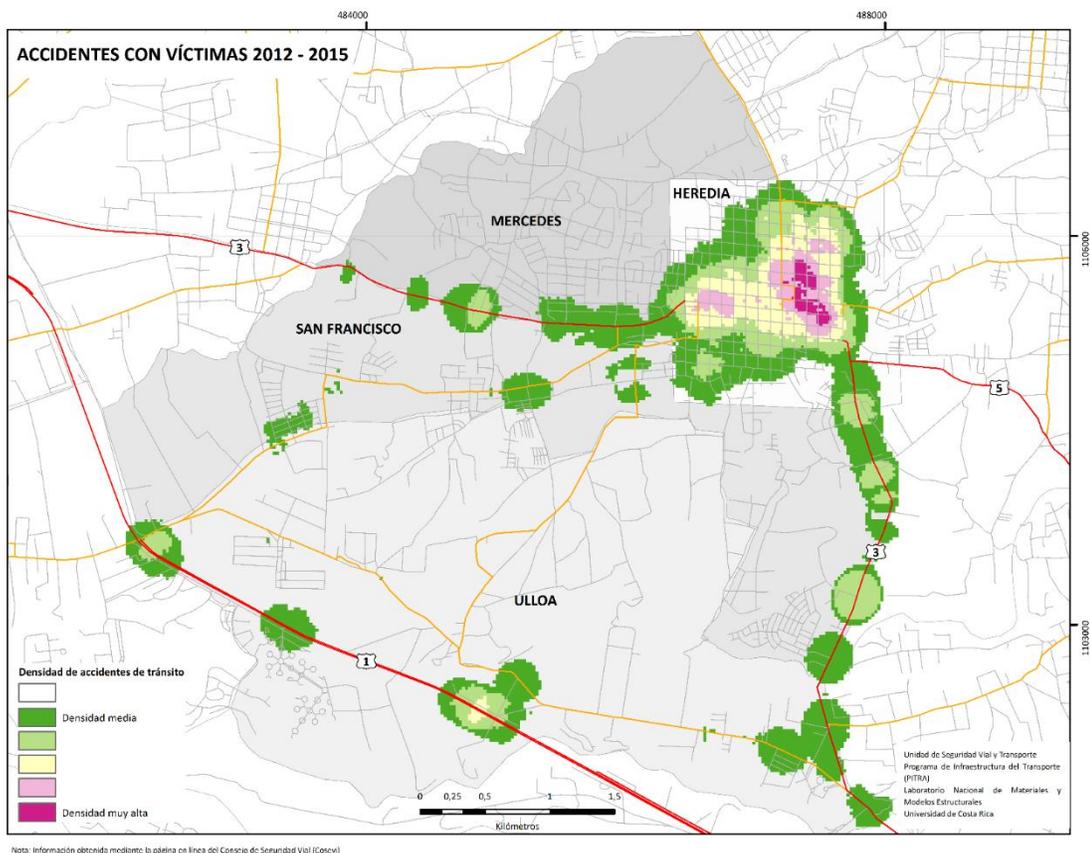


Figura 11. 22. Mapa de calor de acuerdo a la ubicación de accidentes con víctimas en los distritos centrales del cantón Heredia para el período 2012-2015

Fuente: Cosevi (s.f.)

Informe LM-PI-UMP-R-001-19	Fecha de emisión: Junio 2019	Página 113 de 118
----------------------------	------------------------------	-------------------



11.20. Evaluación de movilidad en diferentes vías del cantón de Curridabat a partir de intervenciones de urbanismo táctico

Objetivo: Evaluar el impacto de proyectos de movilidad mediante intervenciones de urbanismo táctico en diferentes vías del cantón de Curridabat.

Con el fin de democratizar y hacer más eficiente la utilización del espacio público, existe actualmente una gran necesidad de generar proyectos integrales de urbanismo y movilidad. Una de las limitaciones para la realización de estos proyectos de transformación y renovación del espacio urbano es su elevado costo, y muchas veces resulta difícil prever su aceptación por parte de la ciudadanía y los usuarios. Por ello, es una buena estrategia realizar estos proyectos por etapas, seleccionando estratégicamente intervenciones para evaluar el comportamiento de peatones, ciclistas y vehículos antes de construir las obras definitivas. Es así como a través de estrategias de urbanismo táctico se pueden implementar intervenciones temporales para que los ciudadanos puedan irse apropiando del espacio público y que, además, se puedan evaluar las intervenciones cualitativamente y cuantitativamente.

El cantón de Curridabat se encuentra en un proceso de renovación de sus espacios urbanos, con mucho innovación y empeño por mejorar la calidad de vida de sus residentes y visitantes. Dentro de su concepto de Ciudad Dulce, Curridabat definió algunas rutas denominadas transiciones, las cuales tienen un gran potencial para generar ambientes con pacificación vial y una democratización del espacio público. Por lo tanto, se escogieron dos corredores: la calle ancha de barrio Freses (hacia el sur de la Universidad Fidélitas) y la calle ancha de barrio El Prado (hacia el sur de Plaza del Sol); esto debido a que la municipalidad ya invirtió en el desarrollo de propuestas de renovación urbana para estas calles, a través de talleres de participación ciudadana y diseño preliminar de las obras.



Figura 11. 23. Propuesta de bulevar en barrio Freses con medidas de pacificación vial y una redistribución del espacio público; sector donde se realizarán las intervenciones de urbanismo táctico

Actualmente se está realizando un estudio de movilidad vehicular y peatonal en barrio Freses, a través de cámaras instaladas en puntos clave y conteos manuales, así como un estudio de trayectorias peatonales. También se está realizando una encuesta de percepción y caracterización de los usuarios y ciudadanos de la zona. A partir de las propuestas que la municipalidad desarrolló se van a diseñar intervenciones de urbanismo táctico, las cuales permitirán realizar un estudio antes-después con el fin de valorar y validar el proyecto integral de movilidad.

11.21. Evaluación de efectividad de las medidas de movilidad segura y pacificación vial del proyecto de renovación del casco central de Curridabat

Objetivo: Evaluar la efectividad de las medidas de movilidad segura y pacificación vial del proyecto de renovación del casco central de Curridabat a través de análisis antes-después e implementación de intervenciones de urbanismo táctico.

El cantón de Curridabat ha venido planteando un proyecto para la renovación de su casco central, con una redistribución del espacio público que logre una pacificación vial y un ambiente más seguro y atractivo para la ciudadanía. El anteproyecto cuenta ya con un análisis urbano, un estudio antropológico, el levantamiento topográfico, el anteproyecto urbano y un estudio de movilidad.

El proyecto se ha dividido en dos etapas, la primera correspondiente a dos cuadras ubicadas al norte de la iglesia y del parque central, la cual tiene un flujo vehicular unidireccional en el sentido este-oeste. En este sector que se observa en la Figura 11. 24 se está realizando un estudio de movilidad vehicular y peatonal, a través de cámaras instaladas en puntos clave y conteos manuales, así como un estudio de trayectorias peatonales y de velocidades de circulación vehicular. También se está realizando una encuesta de percepción y caracterización de los usuarios y ciudadanos de la zona.

A partir del anteproyecto con el que cuenta la municipalidad, se van a diseñar intervenciones de urbanismo táctico, las cuales permitirán realizar un estudio antes-después con el fin de valorar y validar el proyecto integral de movilidad. A partir de estas estrategias se logra implementar intervenciones temporales para que los ciudadanos puedan irse apropiando del espacio público y que, además, se puedan evaluar las intervenciones cualitativamente y cuantitativamente.

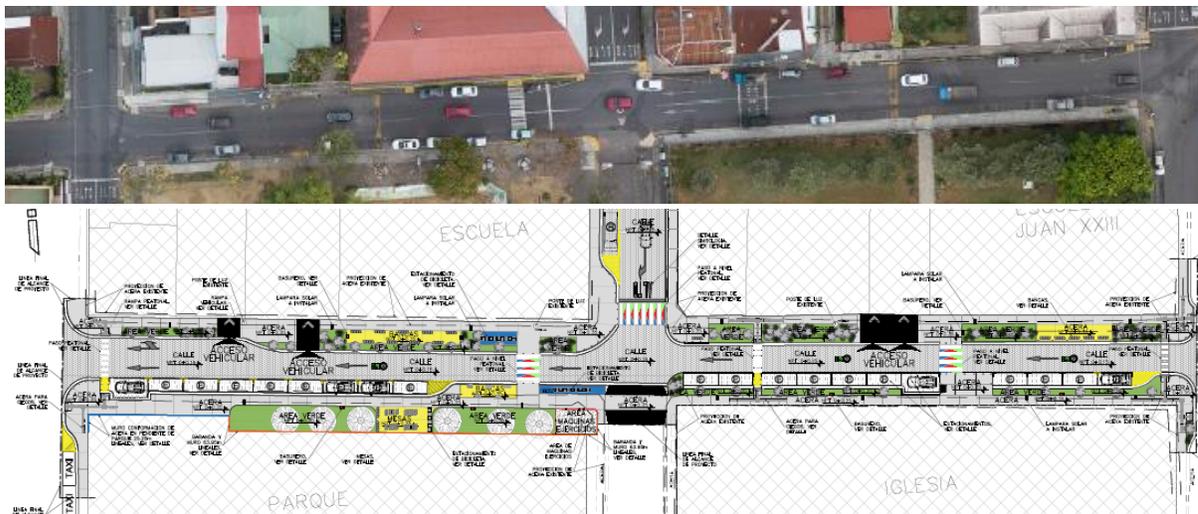


Figura 11. 24. Propuesta de pacificación vial y renovación urbana en el casco central de Curridabat, al norte de la iglesia y el parque; sector donde se realizarán las intervenciones de urbanismo táctico

Luego, se continuará de igual forma con la segunda etapa del proyecto, la cual abarca 11 cuadras más en el casco central, las cuales formarán una retícula central de movilidad y renovación urbana.

11.22. Modelo de demanda de transporte urbano de la GAM en plataforma TransCAD

Objetivo: Gestionar y aplicar el modelo de demanda de transporte urbano como herramienta en la planificación vial.



Como resultado del proyecto Modelo de demanda de transporte urbano en la GAM (MDT-UCR) 2016-2018, se migró y recalibró el modelo utilizado en el PRUGAM, sumado a la generación de la siguiente documentación y publicaciones:

- Modelación de demanda del transporte urbano. Fundamentos teóricos.
- Modelo de demanda del transporte urbano en la GAM. Manual de uso.
- Modelo de demanda del transporte urbano en la GAM. Aplicación práctica.
- Modelo de demanda del transporte urbano en la GAM. Análisis y ajustes realizados al modelo de demanda original, posterior a la migración de emme2 a TransCAD.
- Anuario de información de tránsito para San José, Alajuela, Cartago y Heredia, periodo 2017-2018
- Evolución histórica de la modelación de demanda de transporte urbano en Costa Rica
- Modelación de demanda de transporte urbano en Costa Rica, de Emme a TransCAD

Las capacidades gestadas durante el proyecto se incorporaron a la Licenciatura en Ingeniería Civil del curso de Transportes I y a la Maestría en Transportes y Vías en Ingeniería Civil del curso Sistemas de Transportes durante el transcurso del proyecto, así como al finalizar mediante un taller denominado Demanda de transporte urbano, enfocado al personal de la USVT-LanammeUCR, ProDUS y estudiantes avanzados de carrera.

En aras de gestionar la base de datos, preservar las capacidades instaladas en la USVT y continuar con la capacitación de los estudiantes en Ingeniería Civil, se han desarrollado las siguientes labores:

- Actualización de macros para uso de MDT-UCR a través de actualizaciones del programa TransCAD.
- Gestión y actualización de la base de datos del modelo.
- Incorporación de clases de laboratorio en el curso de Transportes I asociados al uso del programa TransCAD.
- Charlas informativas acerca de la historia de la modelación de demanda de transporte urbano en Costa Rica y su importancia en la planificación vial.
- Adicional a las labores mencionadas, se investiga en las siguientes áreas, utilizando el modelo de demanda como herramienta de planificación y análisis:
- Análisis de escenarios ante la incorporación de proyectos viales y cambios en el uso de suelo.

Informe LM-PI-UMP-R-001-19	Fecha de emisión: Junio 2019	Página 117 de 118
----------------------------	------------------------------	-------------------

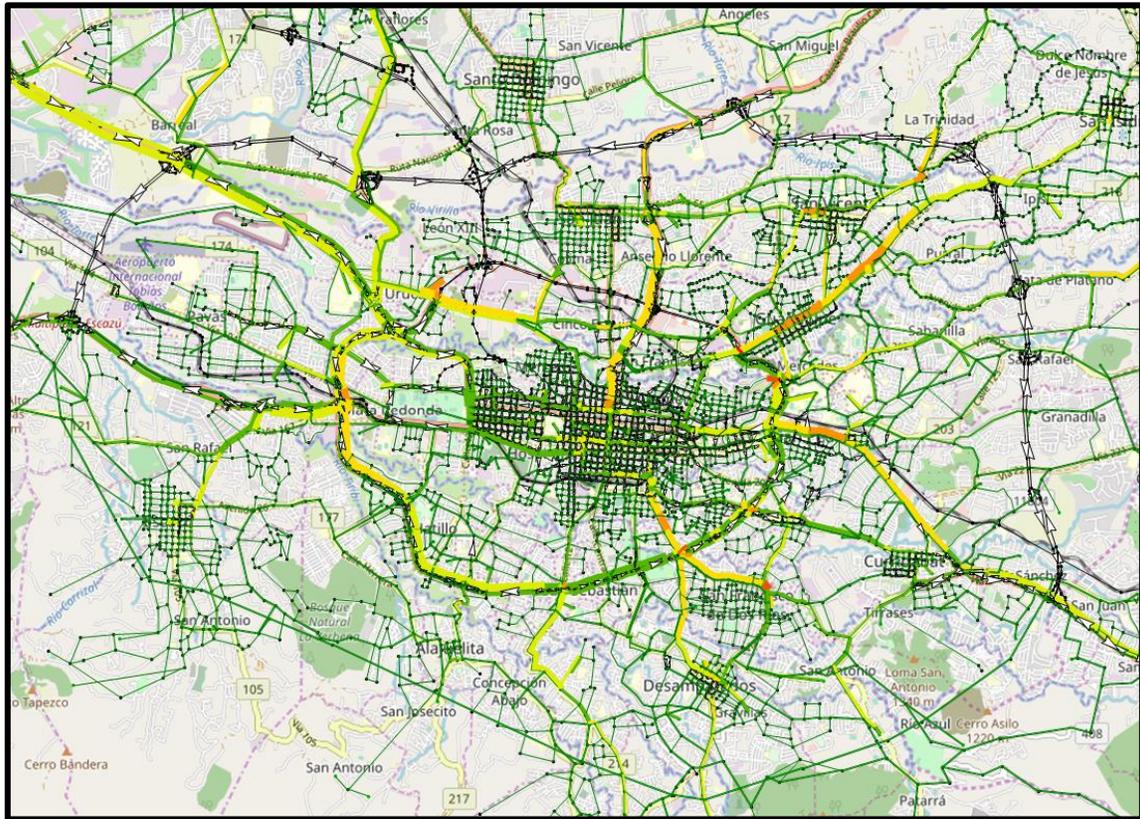


Figura 11. 25. Análisis de demanda ante incorporación de proyecto vial: Anillo Periférico Sur

- Incorporación de resultados de demanda en análisis de microsimulación.