



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Resumen: LM-PI-UMP-R-001-17

AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2017

San José, Costa Rica
Junio, 2017

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-001-17		2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: AVANCE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2017		4. Fecha del Informe Junio, 2017	
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 117
13. Preparado por:			14. Aprobado por:
Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos	Ing. Diana Jiménez Romero, MSc Coordinadora Unidad de Seguridad Vial y Transportes	Ing. Ronald Naranjo Ureña Coordinador Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional	
Fecha: 06 / 06 / 17	Fecha: 06 / 06 / 17	Fecha: 06 / 06 / 17	
Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica		Ing. Luis Guillermo Loría, PhD Coordinador General PITRA	
Fecha: 06 / 06 / 17		Fecha: 06 / 06 / 17	



TABLA DE CONTENIDO

<i>TABLA DE CONTENIDO</i>	3
1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	6
2. <i>MEZCLAS ASFÁLTICAS</i>	6
2.1. Daño por humedad en mezclas asfálticas	6
2.2. Efecto del contenido de relleno mineral en el desempeño y volumetría de la mezcla asfáltica en caliente	8
2.3. Evaluación mezclas asfálticas con asfaltos modificados	11
3. <i>MATERIALES GRANULARES Y SUELOS</i>	13
3.1. Caracterización Físico-Química de suelos de Costa Rica	13
3.2. Modelo matemático para la predicción del Mr en condiciones de humedad variable	13
3.3. Evaluación del desempeño de materiales tratados con cemento en tramos de prueba	16
3.4. Desarrollo de un protocolo de ensayo para estimación de fatiga en una base estabilizada con cemento	18
3.5. Estabilización de suelos mediante aditivos mejoradores	20
4. <i>CIENCIA DE MATERIALES</i>	22
4.1. Estudio de las propiedades adhesivas del asfalto	22
4.2. Estudio fisicoquímico de la oxidación y su incidencia en el daño por humedad de asfaltos	23
4.3. Uso de aditivos retardadores de la oxidación en ligantes asfálticos	27
4.4. Pavimentos verdes	28
4.5. Determinación del efecto de la temperatura y el tiempo en las características del asfalto	30
4.6. Comparación de métodos para cuantificar los componentes SARA del asfalto	32
4.7. Asfalto modificado con caucho	35
4.8. Cuantificar V, Ni y Zn en el asfalto por espectroscopia de absorción atómica	36
4.9. Asfalto modificado con biopolímeros	37
4.10. Asfalto modificado con plástico de recipientes de plásticos	38
4.11. Medición de carga superficial de asfalto y agregados calcáreos y silíceos de Costa Rica	40
4.12. Espectro Infrarrojo del Asfalto	41
4.13. Comparación de los métodos de cuantificación del residuo de emulsiones asfálticas	42
4.14. Reología de residuos de emulsión asfáltica	42
4.15. Análisis químico de los residuos de la emulsión asfáltica	43
5. <i>CONSERVACIÓN VIAL</i>	45
5.1. Diseño de sellos de lechada asfáltica y microcapa	45



5.2. Guía de diseño de emulsiones asfálticas _____	46
5.3. Diseño de materiales granulares con asfalto espumado _____	48
5.4. Diseño de materiales granulares con emulsión asfáltica _____	50
5.5. Diseño de materiales para tratamientos superficiales _____	51
5.6. Implementación de la compactación mediante el martillo vibratorio _____	54
5.7. Implementación de metodología para la evaluación del desempeño de riegos de liga _____	56
5.8. Evaluación del desempeño y metodología de diseño para bacheo mediante técnica de inyección _____	58
6. GEOSINTÉTICOS _____	62
6.1. Línea de investigación en el uso de geosintéticos en pavimentos _____	62
6.2. Técnicas de colocación de geosintéticos para refuerzo de pavimentos _____	63
6.3. Comportamiento de geosintéticos en materiales granulares _____	66
7. PAVIMENTOS RÍGIDOS _____	68
7.1. I&D+i Concreto Hidráulico _____	68
8. ENSAYOS A ESCALA NATURAL _____	69
8.1. Ensayos acelerados de carga sobre pistas a escala natural de pavimento. _____	69
8.2. Evaluación del desempeño de pavimentos asfálticos en el largo plazo _____	71
9. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS _____	74
9.1. Herramienta para diseño Mecánistico-Empírico de pavimentos flexibles CR-ME _____	74
9.2. Herramienta retrocálculo y diseño de sobrecapas en pavimentos. PITRA-BACK. _____	77
9.3. Herramienta para importación de bases de datos a formato F25. DBtoF25 _____	79
9.4. Análisis de la influencia de la presión de inflado sobre las respuestas críticas en el desempeño de los pavimentos flexibles _____	80
10. GESTIÓN _____	82
10.1. IRI en proyectos de rehabilitación _____	82
10.2. La influencia de la geometría en los valores de IRI _____	84
10.3. Incorporación de criterios ambientales, sociales y económicos en el desarrollo de un plan de inversiones a nivel de red para pavimentos flexibles de la Red Vial Nacional de Costa Rica _____	85
11. SOSTENIBILIDAD _____	87
11.1. Línea de investigación en sostenibilidad de infraestructura vial _____	87
12. INGENIERÍA DEL TRANSPORTE Y SEGURIDAD VIAL _____	89
12.1. Diagnóstico sobre movilidad ciclista _____	89
12.2. Diagnóstico sobre transporte público _____	91
12.3. Entorno urbano y movilidad activa _____	92
12.4. Guía de diseño para facilidades peatonales: caso de estudio en San Pedro de Montes de Oca _____	93



12.5. Desempeño de la demarcación vial horizontal en Costa Rica	95
12.6. Guía básica para un plan de contingencia vial. Caso: Colapso de las Alcantarillas de los ríos Ocloro y Quebrada Los Negritos sobre la Carretera de Circunvalación (Ruta 39)	97
12.7. Análisis de movilidad peatonal entre las fincas de la sede Rodrigo Facio para mejorar su seguridad vial	98
12.8. Costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012	100
12.9. Utilización del vehículo compartido para viajar a la sede Rodrigo Facio en la Universidad de Costa Rica	101
12.10. Elaboración de una guía de mantenimiento en campo para sistemas de contención vehicular de uso en Costa Rica	102
12.11. Propuesta de criterios para la regulación del uso e instalación de vallas digitales en la red vial de Costa Rica	103
12.12 Modelo de demanda de transporte urbano de la GAM en plataforma TransCAD	105
12.13 Análisis descriptivo de patrones de velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo del tránsito de Costa Rica	107
12.14 Monitoreo Movilidad Activa UCR	109
12.15 Inventario Elementos Seguridad Vial: Evaluación de la factibilidad del uso de equipo de auscultación visual de carreteras (Geo-3D) para elaboración de inventario de seguridad vial de las principales vías de Costa Rica	111
13. VULNERABILIDAD	114
13.1. Estudio de presencia de drenaje ácido de rocas (DAR) en taludes de la Ruta Nacional 27	114
13.2. Densificación de la red de acelerógrafos en las áreas cercanas a puentes importantes	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 2017. 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. MEZCLAS ASFÁLTICAS

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 abarca la evaluación de mezclas asfálticas confeccionadas a partir de una variedad de materiales y granulometrías representativas de las condiciones típicas de Costa Rica. La cuantificación de daño producto de este deterioro es analizado mediante ensayos de desempeño a escala de laboratorio dispuestos en dos fases, de acuerdo con el alcance definido en el informe LM-PI-UMP-R-001-16.

La metodología de evaluación se encuentra claramente definida, alcanzando el cumplimiento del objetivo primordial del proyecto. El avance del esquema experimental se resume en la siguiente Tabla.

Informe LM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 6 de junio de 2017	Página 6 de 117
----------------------------	--------------------------------------	-----------------

Tabla 2.1. Avance del esquema experimental del proyecto de daño por humedad

Mezcla	Asfalto	Fuente 1				Fuente 2				Fuente 3			
		M D	RRTD	F N	V F	M D	RRTD	F N	V F	M D	RRTD	F N	V F
TMN 9.5 mm	Control	√	√	√	√	√	√	√		√	√		
	SBS	√	√	√	√	√	√	√					
	LAS	√	√	√		√	√	√					
	SBS+LA S	√	√	√	√	√	√	√					
	Cal	√	√	√		√	√	√					
	SBS+Cal	√	√	√	√	√	√	√					
TMN 12.5 mm	Control	√	√	√	√	√	√	√		√	√		
	SBS	√	√	√	√	√	√	√					
	LAS	√	√	√		√	√	√					
	SBS+LA S	√	√	√	√	√	√	√					
	Cal	√	√	√		√	√	√					
	SBS+Cal	√	√	√	√	√	√	√					

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

En el caso de la Fuente 3, a la fecha se ha completado el diseño de los tratamientos de control, asfalto modificado con LAS (antidesnudante líquido) y asfalto modificado con SBS. No obstante, la programación de los ensayos presenta un atraso cercano a los 2 meses producto de un fallo en el equipo Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT).

Dentro de los principales hallazgos obtenidos a la fecha se destaca la alta susceptibilidad al daño por humedad agregado proveniente Río Claro (Fuente 3), respecto a los agregados provenientes de Barranca (Fuente 1) y Guápiles (Fuente 2). La razón principal corresponde a la naturaleza caliza de dicha fuente. En la siguiente Figura se presenta la comparación visual de la naturaleza de los agregados utilizados en el proyecto.





(a)



(b)

Figura 2.1. Agregados (a) Fuente 3: Río Claro (b) Fuente 2: Guápiles.

Los resultados obtenidos a la fecha aportan información concluyente que puede ser utilizada para externar recomendaciones y generar especificaciones en el tema de materiales permisibles para la fabricación de mezcla asfáltica para capa de rodadura en Costa Rica.

2.2. Efecto del contenido de relleno mineral en el desempeño y volumetría de la mezcla asfáltica en caliente

Objetivo: Cuantificar la influencia de realizar cambios en la granulometría y contenido de asfalto en la relación polvo/asfalto y establecer su correlación con el desempeño medido en daño por humedad, deformación permanente y fisuramiento por fatiga, para establecer criterios de restricción para este parámetro.

Fase I: Mezcla de laboratorio: con una fuente de agregado de la Planta MECO, Uruca que consiste en fuente del Río Toro Amarillo (3 apilamientos) y una fuente de material fino del Río Chirripó. El asfalto es un asfalto PG 64-22 (AC 30).

Dada la conformación de la granulometría de los dos apilamientos de finos fue difícil cambiar el contenido del tamiz N° 200 solo por simple combinación porcentual. Las pruebas iniciales con 3 granulometrías no permitieron que se observara el cambio en la relación polvo/asfalto que se deseaba así que, se decidió combinar los dos apilamientos de finos proporcionalmente para poder cambiar de manera más flexible las curvas granulométricas. Se establecieron 3 nuevas combinaciones variando el tamiz N°4 para hacer más gruesa y fina la granulometría.

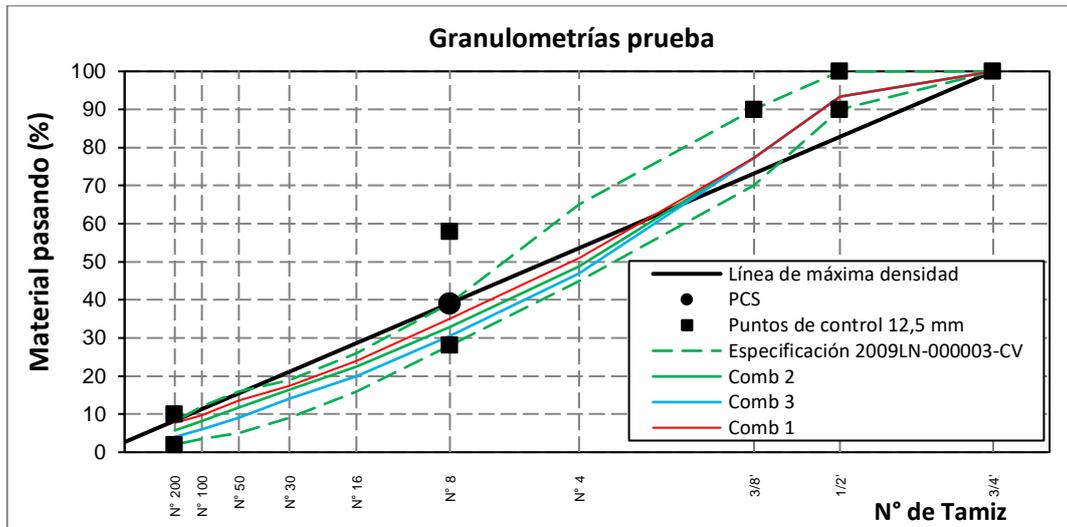


Figura 2.2. Granulometrías evaluadas inicialmente.

Tabla 2.2. Propiedades volumétricas de mezclas preparadas con granulometrías iniciales

MUESTRA	GBS AGREG	GBS MAC	GMM	VACÍOS	VMA	VFA	P/A	ASF EFECT	ASF ABS
Comb 1	2,611	2,379	2,479	4,04	14,1	71,4	1,77	4,34	1,44
Comb 2	2,611	2,352	2,474	4,93	15,1	67,3	1,29	4,43	1,35
Comb 3	2,611	2,303	2,472	6,85	16,8	59,3	0,90	4,45	1,33

Se le va a realizar análisis de desempeño a la combinación 1 que no cumple la relación polvo/asfalto, la combinación 2 que sí cumple dentro del rango de vacíos de 3% - 5% y una tercera muestra con la combinación 2 + 0,5% de asfalto. Esto se desarrollará en lo restante del año actualmente pues se está desarrollando la Fase II que se detalla adelante.

Para tratar de simular si en la planta de producción se aumenta la cantidad de finos del baghouse, se tomó como base la combinación 3 anterior y se establecieron dos granulometrías más solo cambiando a partir del tamiz N°50, y observar cómo se afectan las propiedades volumétricas de la mezcla.

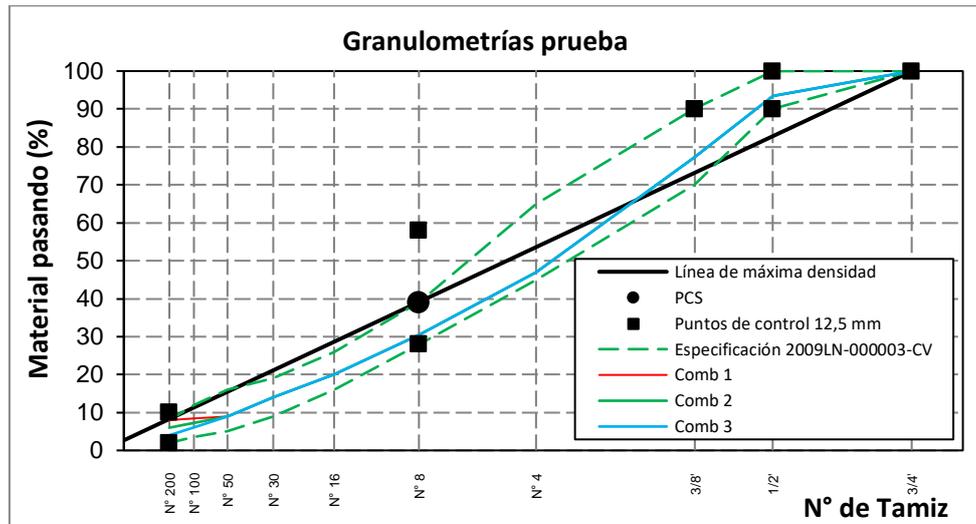


Figura 2.3. Granulometrías seleccionadas.

Tabla 2.3. Propiedades volumétricas de mezclas preparadas con granulometrías seleccionadas

MUESTRA	GBS AGREG	GBS MAC	GMM	VACÍOS	VMA	VFA	P/A	ASF EFECT	ASF ABS
Comb 1	2,604	2,358	2,472	4,60	14,6	68,5	1,84	4,36	1,42
Comb 2	2,604	2,341	2,479	5,54	15,2	63,6	1,41	4,25	1,54
Comb 3	2,605	2,313	2,470	6,35	16,2	60,9	0,91	4,40	1,38

Fase II: Mezcla de planta: se presentó la oportunidad de reproducir los cambios anteriores con mezcla producida en planta gracias a la colaboración de la planta de Hernán Solís en Guápiles. Así se establecieron 8 tratamientos basados en la fórmula de trabajo de la planta, con cambios en el contenido de relleno mineral (pasando el tamiz 0,075 mm), en la fracción fina (pasando el tamiz 2,36 mm) y en el contenido de asfalto. Se están midiendo la volumetría de cada mezcla, así como el desempeño en daño por humedad a la tensión diametral, deformación permanente en el equipo APA y Rueda de Hamburgo y agrietamiento por fatiga en vigas a flexotracción.



2.3. Evaluación mezclas asfálticas con asfaltos modificados

Objetivo: Cuantificar el aporte del ligante asfáltico modificado en la resistencia a deterioros relacionados con la susceptibilidad a la deformación permanente, fisuramiento por fatiga y daño por humedad

El proyecto consiste en la evaluación de un ligante asfáltico modificado como componente de la mezcla asfáltica a partir de ensayos de desempeño, tanto para la condición de control utilizando el un asfalto convencional para Costa Rica, como para tres mezclas con ligantes modificados diferentes.

El esquema experimental planteado tiene como objetivo cuantificar el aporte del ligante asfáltico modificado en la resistencia a deterioros relacionados con la susceptibilidad a la deformación permanente, fisuramiento por fatiga y daño por humedad. Para esto se evaluaron cuatro tipos de mezcla asfáltica, una utilizando un asfalto convencional PG 64-22 y tres utilizando asfaltos modificados: PG 70-22, PG 76-22 y PG 64 -22+SBS.

El ligante asfáltico convencional PG 64 -22 y los materiales pétreos de la investigación fueron aportados por el LanammeUCR, mientras que los ligantes asfálticos PG70 -22 y PG76-22 fueron aportados por la empresa Total Petróleo Costa Rica S.A.

En la figura se muestra el esquema metodológico del proyecto.

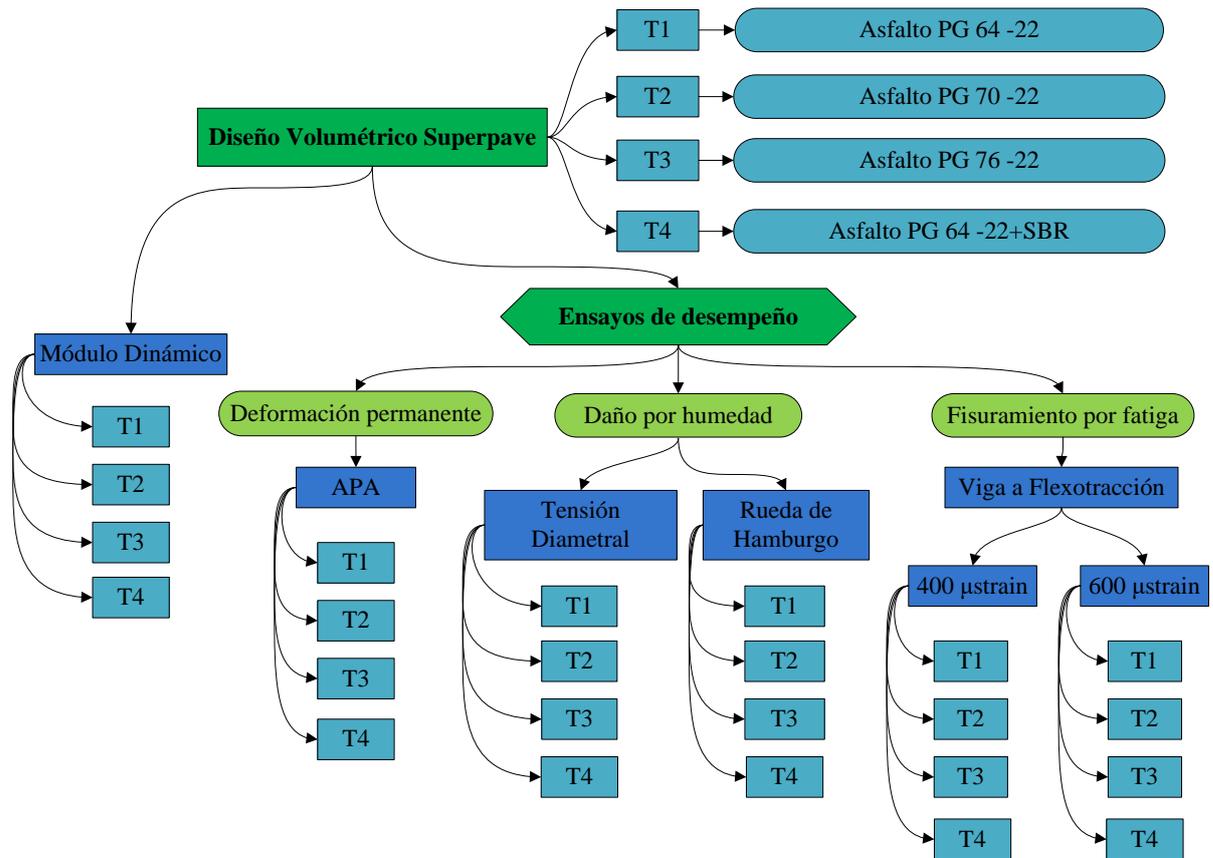


Figura2.4. Esquema experimental del proyecto

Después de realizar todo el esquema experimental del proyecto se obtuvieron excelentes resultados de desempeño en las mezclas que utilizaron asfaltos modificados, en general, estas presentan una resistencia significativamente mayor a los deterioros relacionados a la deformación permanente y agrietamiento por fatiga, además se determinó que son menos susceptibles al daño por humedad. Esta evaluación del desempeño con base en los criterios especificados para mezclas de alto desempeño en Costa Rica en rutas de alto volumen de tránsito, evidenció el cumplimiento de todos los valores especificados, dicho comportamiento fue consistente a lo largo de todo el esquema experimental.



3. MATERIALES GRANULARES Y SUELOS

3.1. Caracterización Físico-Química de suelos de Costa Rica

Objetivo: Caracterizar física y químicamente suelos que potencialmente se podrían usar como subrasante en pavimentos construidos en Costa Rica.

En Costa Rica existe gran variabilidad en los tipos de suelo existentes. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, la topografía, entre muchos otros factores.

La importancia de las carreteras radica en que es la columna vertebral del transporte de comercio y por tanto de la economía nacional. Por tanto, su construcción y mantenimiento se vuelven estratégicos. El invertir o no invertir lo necesario conduce a pérdidas de capital o bien a gastos mayores en el futuro, por lo que esta investigación busca utilizar los recursos de una manera óptima y comprender de una mejor manera el suelo como subrasante para pavimentos, utilizando toda la información posible que lo caracterice y permita un diseño económico y eficiente de una carretera.

Se han muestreado suelos de 102 puntos ubicados cerca de la Red Vial Nacional en la Zona de Guanacaste, Puntarenas, Zona Sur, Caribe, Zona Norte y Valle Central. Para todos estos suelos ya se cuenta con los resultados de la caracterización de Límites de Atterberg, Granulometría y de Análisis Termogravimétricos (TGA). Se cuenta con una base de datos que posee toda la información de los resultados de TGA.

Actualmente se van a iniciar con el análisis de difracción por rayos x, con el fin de obtener más información sobre la composición mineralógica de los materiales.

3.2. Modelo matemático para la predicción del Mr en condiciones de humedad variable

Objetivo: Cuantificar el efecto en la resistencia de la subrasante debido al contenido de agua a través de la medición del módulo resiliente, para realizar diseños más eficientes bajo condiciones reales del país.

La importancia de generar un modelo que prediga la variación del módulo resiliente de las subrasantes de acuerdo a la cantidad de agua presente, puede derivar en diseños más económicos y eficientes para las estructuras de pavimentos.

La mecánica de suelos tradicional se basa en el comportamiento saturado de los mismos, el cual es considerado el estado más crítico, sin embargo, este no ocurre el 100% del tiempo e inclusive puede no ocurrir del todo. Es por esta razón que basar decisiones técnicas en información de suelos de mayor calidad resultará en una disminución en el costo asociado al mantenimiento de las carreteras y por ende genera un beneficio para el país y sus habitantes en el mediano y largo plazo. Además, los modelos servirán como insumo a la guía de diseño de pavimentos mecánica empírica (CR-ME) que está bajo implementación, pues se recolecta información que podría utilizarse en un diseño o análisis de pavimentos.

Se han realizado ensayos para un suelo utilizado como subrasante. Este material está compuesto en su mayoría por arena pero contaminada con limos y arcillas plásticas, lo cual lo convierte en un material de subrasante bueno, con buena capilaridad y con capacidad para permear en tiempos relativamente cortos. Los resultados obtenidos a la fecha demuestran que existe una variación importante en el valor del módulo resiliente del material dependiendo de su condición de humedad.

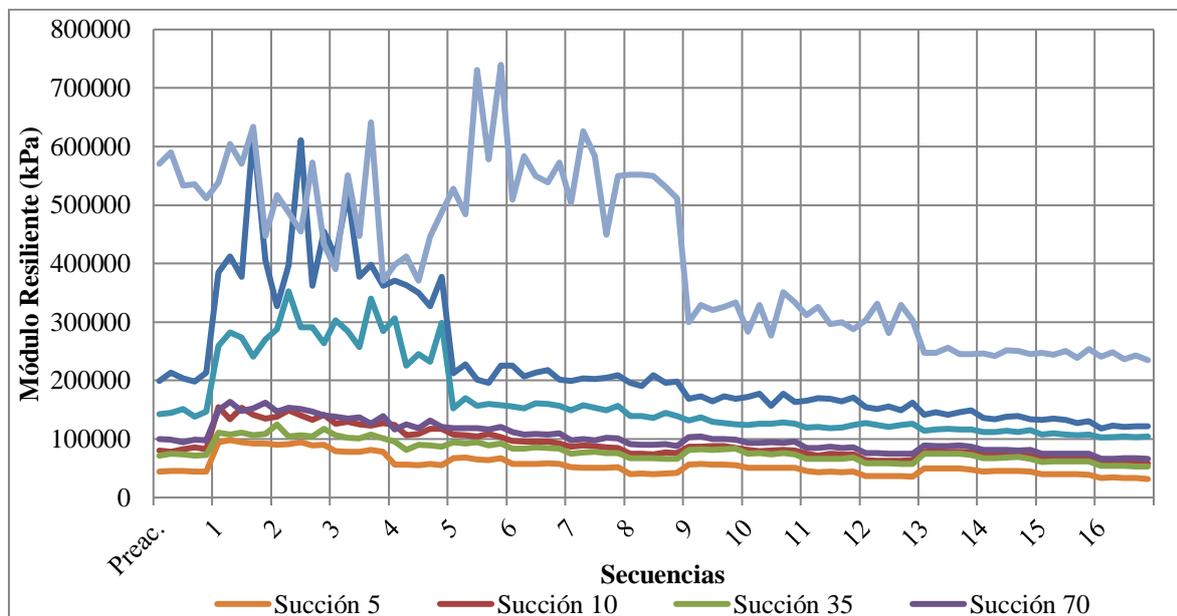


Figura 3.1. Datos de módulo resiliente obtenidos para cada ensayo

Con el fin de predecir el comportamiento del material como función de sus variaciones en el contenido de humedad se han ajustado los siguientes modelos:

InformeLM-PI-UMP-R-001-16	Fecha de emisión: 6 de junio de 2017	Página 14 de 117
---------------------------	--------------------------------------	------------------



Tabla 3.1. Resumen de los modelos ajustados para predecir el Mr en condiciones de humedad variable.

Modelo		Parámetros	Valor Z	AIC	R ²	
Universal Modificado	$Mr = k_1 \times P_a \times \left(\frac{\theta_{neto} - 3 \times \Delta u_w - sat}{P_a} \right)^{k_2} \times \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right)^{k_3} \times \left(\frac{\psi_{m0} - \psi_m}{P_a} + 1 \right)^{k_4}$	K ₁	1328,125	502,08	-0,066	0,686
		K ₂	0,291	12,14		
		K ₃	-1,608	-39,94		
		K ₄	1,101	80,48		
Exponencial	$Mr = k_1 \times P_a \times e^{(k_2 \times \frac{\theta_{neto}}{P_a} + k_3 \times \frac{\tau_{oct}}{P_a} + k_4 \times \frac{\psi}{P_a})}$	K ₁	1019,873	402,7	0,002	0,771
		K ₂	0,203	12,62		
		K ₃	-0,870	-37,22		
		K ₄	0,448	84,59		
Polinómico	$Mr = k_1 + k_2 \times \psi + k_3 \times \psi^3 + k_4 \times \tau_{oct}^2 + k_5 \times \tau_{oct}^3 + k_6 \times \theta_{neto}$	K ₁	146416,838	18,67	25,060	0,713
		K ₂	566,125	15,65		
		K ₃	0,002	6,25		
		K ₄	-32,128	-13,23		
		K ₅	0,164	10,7		
		K ₆	232,643	5,31		
Red Neural	$Mr(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}},$ $H_k(P_i) = b_k + \sum_{i=1}^m W_{ik} \times P_i, x(H_k) = b_0 + \sum_{j=1}^m H_k \times W_k$	Según Tabla 3.2			0,724	

Tabla 3.2. Parámetros para el cálculo de la Red Neural

W _k	W _{ik}							
-7,22115	-0,282045	14,318	11,9779					
-26,935	-2,42574	32,446	-22,1048					
-7,4984	-1,14226	18,5758	1,47836					
9,36437	0,633578	29,0778	-1,09538					
-29,5092	27,2342	32,0031	56,3187					
-3,1311	-0,89464	1,4415	-4,92603					
-15,6003	10,6717	19,6176	29,6332					
1,64312	0,128487	4,61707	0,193773					
b ₀	b _k							
-1,98687	-0,978797	-0,710841	-1,7123	5,98839	-3,54419	-6,04306	3,566	0,335202



3.3. Evaluación del desempeño de materiales tratados con cemento en tramos de prueba

Objetivo: Valorar el efecto del cemento como aditivo estabilizador en las propiedades mecánicas y de durabilidad de materiales granulares para ser utilizados como base estabilizada con cemento.

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 zonas con niveles freáticos altos favorecen la aplicación de esta tecnología. En general, la técnica permite aumentar la vida útil de los pavimentos y a la vez permite disminuir la frecuencia en el mantenimiento.

Actualmente se construyó el primer tramo en conjunto con la cementera Holcim y la Municipalidad de Cartago. El proyecto consta de 300 m en donde se utilizaron tres dosificaciones distintas, para el primer tramo de 100 m se utilizó un 5% de cemento, para el segundo un 7% y para el último un 9%, siendo el 7% el correspondiente al diseño óptimo para obtener una Base Estabilizada de 25 kg/cm². El proyecto se ubica en la Calle La Caballeriza en el cantón central de Cartago.

A la fecha se continua con la evaluación del tramo: se han realizado 4 campañas de ensayos de FWD.

Se continuará con el levantamiento de información en distintos momentos durante la vida útil con el fin de conocer la evolución del desempeño del mismo, y de esta forma verificar si la técnica representa una solución competitiva, económica y ambientalmente amistosa que ofrezca una mejor superficie de ruedo y mejor desempeño ante condiciones de lluvia y humedad.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 16 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



(a) Colocación de la capa de base granular



(b) Colocación de los sacos de cemento



(c) Mezclado y conformación de la capa de base estabilizada



(d) Tramo terminado

Figura 3.2. Proceso constructivo del tramo estabilizado en Cartago 2016

Simultáneamente, se está trabajando en la implementación de un ensayo de laboratorio para el desarrollo de leyes de fatiga para la predicción del desempeño en laboratorio de los materiales estabilizados con cemento. Adicionalmente, se prevé construir un tramo más en conjunto con la Holcim, dado que están interesados en promocionar un cemento nuevo diseñado especialmente para estabilizar bases granulares.

3.4. 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.

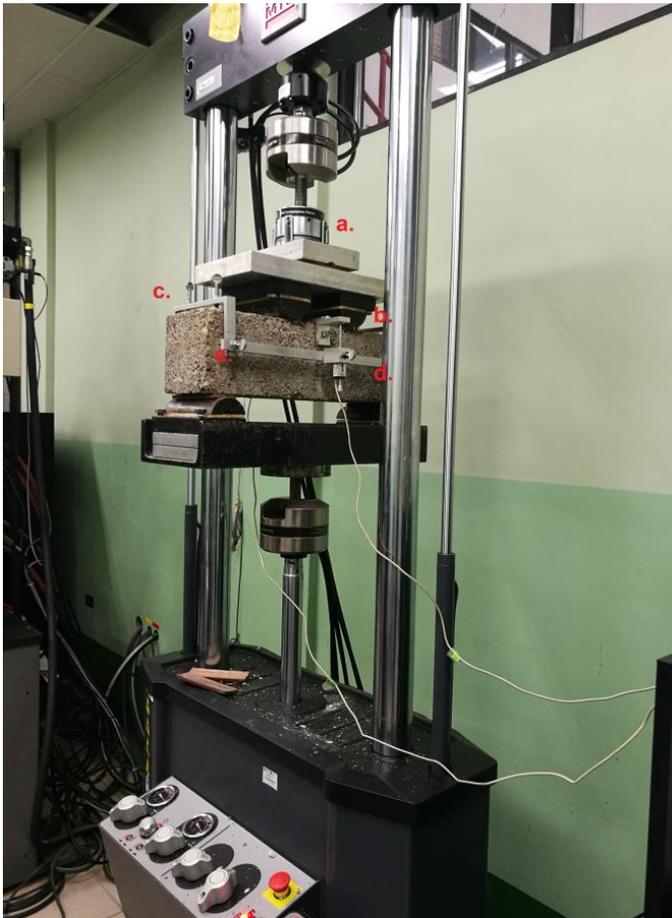
La realización de investigaciones como esta permitirá evaluar y proponer un modelo de fatiga para analizar y diseñar bases estabilizadas con cemento, obtener conclusiones y emitir recomendaciones al respecto. Con esta investigación se ha logrado implementar un protocolo de moldeo y compactación de vigas de base estabilizada.



Figura 3.3. Equipo de compactación de vigas de base estabilizada con cemento.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 18 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

Adicionalmente, se implementó un protocolo de montaje y ensayo a fatiga en este tipo de especímenes el cual está siendo actualmente verificado. En la siguiente figura se puede observar en detalle el montaje del equipo utilizado.



- a. Cabeza para ensayos de compresión con placa que rota.
- b. Capeo, asegura contacto horizontal y uniforme
- c. Tornillos para ajustar marco.
- d. LVDT y placa de referencia.
- e. Marco para ubicar los LVDT en el espécimen.

Figura 3.4. Montaje final de la viga de base estabilizada para el ensayo de fatiga.

Durante la fase experimental se definió el número de muestra como 10 cilindros y 20 vigas de 50 mm de alto, 150 mm de ancho y 535 mm de largo con bases estabilizada con cemento, de las cuales se encuentran a la fecha 4 lotes de 4 vigas con sus respectivos ensayos para Módulo Resiliente y Fatiga para las cuales se utilizó una variación en el porcentaje de la carga del Módulo de Ruptura de 90%, 80%, 70% y 60%.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 19 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



3.5. Estabilización de suelos mediante aditivos mejoradores

Objetivo: Evaluar el efecto de la aplicación de materiales mejoradores de propiedades mecánicas de suelos y bases granulares

Para evaluar el aporte de un aditivo en la estabilización y mejoramiento de suelos, se ha planteado un esquema experimental donde se contempla la ejecución de pruebas de laboratorio para la caracterización de los materiales utilizados y la valoración de la capacidad de un tratamiento de control y un tratamiento estabilizado con el aditivo en las condiciones definidas por el fabricante o distribuidor del producto. El esquema experimental planteado para este tipo de proyectos se desglosa a continuación:

1. Caracterización del suelo patrón

La caracterización de material patrón contempla la ejecución de los siguientes procedimientos de ensayo:

- Granulometría de gruesos (ASTM C 136)
- Granulometría de finos (ASTM C 117)
- Próctor Estándar (AASHTO T 99)
- Límites de consistencia (ASTM D 4318)

2. Determinación del contenido óptimo

- Prueba de PH Eades & Grim (ASTM D 6276), adaptada a materiales granulares.

3. Resistencia a la Compresión Inconfinada (ASTM D 1633)

Se confeccionan 3 especímenes para cada tratamiento. El proceso de adición del aditivo se realiza de acuerdo a las condiciones definidas por el fabricante o distribuidor del producto. Por su parte, la falla se realiza en un estado de saturación por capilaridad de 24 horas, de acuerdo a la condición de saturación crítica especificada en el Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.

4. Índice de soporte de California CBR (AASHTO T 193)

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 20 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Este esquema experimental se ha implementado con éxito en varios aditivos mejoradores de suelos ensayados en el LanammeUCR. Un ejemplo de un agente mejorador de suelos que se ha ensayo bajo este esquema experimental es el Sistema Compact-XT.

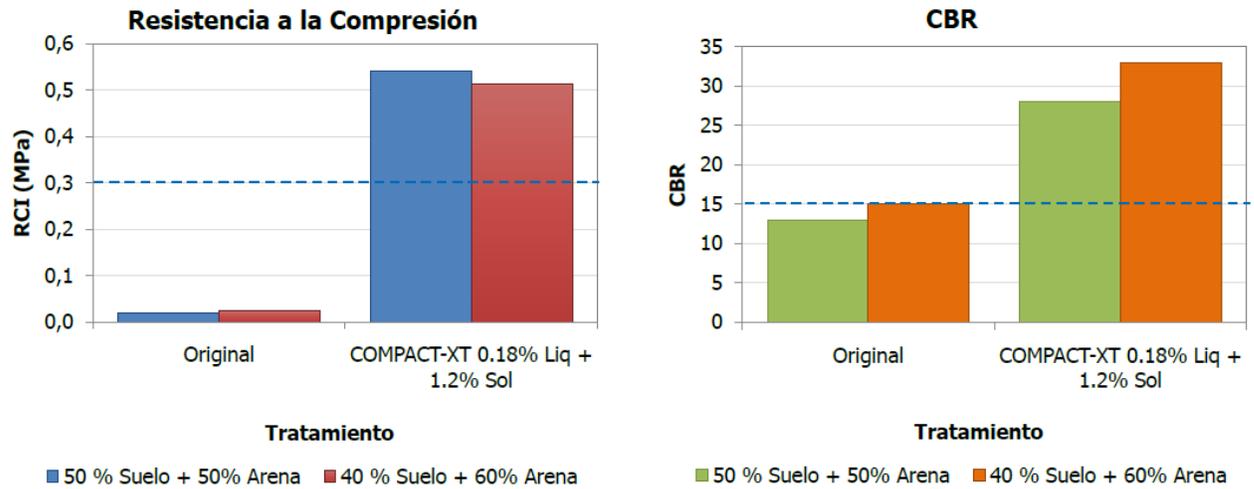


Figura 3.5. Resultados obtenidos con el aditivo estabilizador de suelos Compact-XT

Se concluyó que el éxito de las técnicas de estabilización depende de:

- El diseño del material acorde a las condiciones del sitio. Un mejorador no funciona para todas las condiciones
- Un riguroso control de calidad en campo durante la construcción
- Diseño y construcción de obras alternas que favorezcan el desempeño de la técnica
- Mantenimiento periódico



4. CIENCIA DE MATERIALES

4.1. Estudio de las propiedades adhesivas del asfalto

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

En la actualidad, las propiedades fisicoquímicas de superficie de asfaltos y agregados se obtienen mediante goniometría. A partir de estas propiedades es posible calcular la magnitud de la adhesión entre las partes, así como estimar su propensión a desligarse en presencia de agua.

La interacción entre los materiales constituyentes de una mezcla asfáltica entre sí y con el agua es una característica de gran utilidad en la determinación de la resistencia de la mezcla ante el daño por humedad. Se ha observado una buena correlación entre los valores de compatibilidad fisicoquímica del asfalto y el agregado por el agua, y la sensibilidad mecánica de mezclas asfálticas sometidas al acondicionamiento húmedo (Figura 4.1). De esta manera, se ha encontrado que tales parámetros predicen de manera más acertada el desempeño que tendrá una mezcla asfáltica ante el daño por humedad. Sin embargo, la medición de la energía superficial de asfaltos y agregados (mediante la cual se obtienen las respectivas compatibilidades) se lleva a cabo bajo la suposición de que las superficies involucradas son ideales, es decir, sin imperfecciones. Por lo tanto, actualmente se está trabajando en la corrección del ángulo de contacto por la rugosidad de la superficie. De esta forma, sería posible calcular tanto las propiedades de superficie de asfaltos y agregados (energía superficial, polaridad, dispersión) como la magnitud de las interacciones entre ambos y con el agua (adhesión, cohesión, compatibilidad con el agua) a partir de ángulos de contacto corregidos, lo cual conllevaría a la obtención de parámetros más acertados.

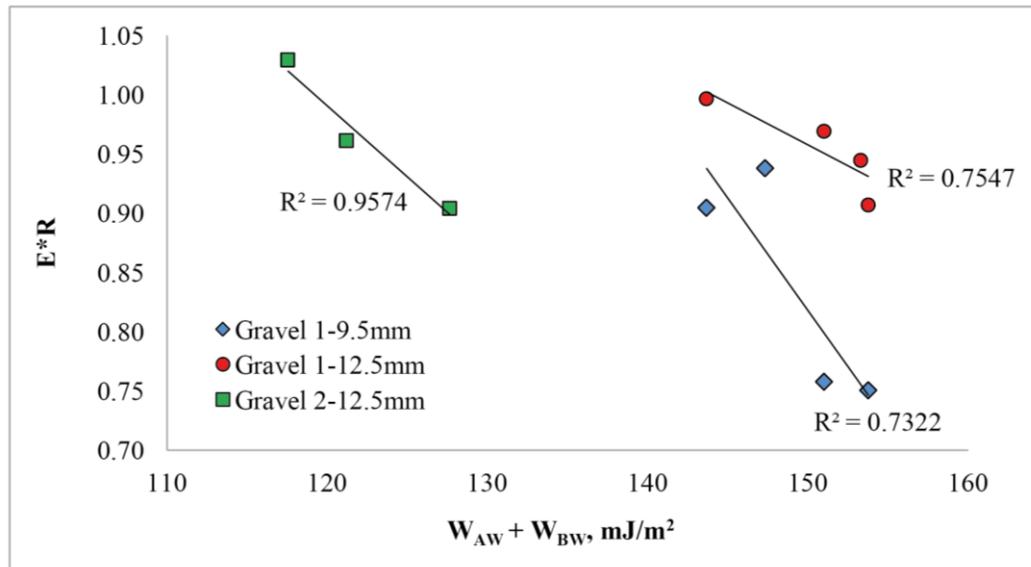


Figura 4.1. Relación entre la compatibilidad del asfalto y el agregado por el agua ($W_{AW} + W_{BW}$) y el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas sujetas a condiciones de humedad (E^*R)

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, 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 para tratar de predecir su comportamiento.

La cinética química permite predecir el tiempo que tomará una reacción en completarse a partir de la medición de variables del sistema, tales como concentración de reactivos o productos, cambio de color, viscosidad, entre otros. Las reacciones de oxidación del asfalto pueden monitorearse mediante espectrometría de absorción en el infrarrojo. Con ayuda de esta técnica, es posible cuantificar el contenido de especies como carbonilos y sulfóxidos, productos característicos de la oxidación. A partir de esta información se obtienen constantes de reacción, energía de activación y factor de colisiones, los cuales son parámetros que caracterizan la sensibilidad del material ante la oxidación. Las constantes de



velocidad de producción de ciertas especies químicas en varias muestras de asfalto se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 4.1. Constantes de rapidez de producción de especies químicas en el asfalto

Muestra	Carbonilo	Sulfóxido	Insaturaciones	Saturaciones
0925	2.338	3.488	0.564	-2.067
2119	2.018	3.377	0.600	-2.734
2549	2.065	2.477	1.103	-2.345
2582	1.648	1.169	1.115	-1.577
2611	1.622	3.515	0.848	-2.394

Los valores contenidos en la tabla anterior indican la facilidad con las que grupos funcionales tales carbonilos, sulfóxidos y enlaces dobles se forman durante la oxidación, así como la pérdida de enlaces simples (saturaciones). Por ejemplo, se observa que, de los asfaltos analizados, la muestra 2582 tiene una menor propensión a la oxidación, esto debido a las bajas constantes de formación de los grupos funcionales mencionados. Actualmente, se está trabajando en la metodología para la obtención de otros parámetros cinéticos mediante termogravimetría en modo modulado.

Por otra parte, también se está investigando el punto Sol-Gel en asfaltos, el cual está relacionado con la capacidad de fatigarse del material. Se observó que la contribución de una componente sobre la otra define las características reológicas únicas del material y la ubicación de los puntos en los que $G' = G''$ determina el comportamiento de determinado material a una temperatura dada. Por ejemplo, la primera aparición de $G' = G''$ indica la temperatura en la que termina la región vítrea y comienza la región de transición. Por lo tanto, se espera que a esta temperatura el material se comporte más similar a un sólido. En este sentido y teniendo en cuenta el comportamiento polimérico del aglutinante la temperatura en la que $G' = G''$ puede ser un indicador útil de la fragilidad de los aglutinantes, lo que a su vez puede estar relacionado con el nivel de oxidación: Cuanto mayor es la temperatura $G' = G''$, más oxidado es el aglutinante. Por consiguiente, un aglutinante con mayor oxidación puede ser más propenso a agrietarse.

La región de transición está dada por la temperatura, la carga y la composición química del material, en donde su estructura molecular no puede pasar de un estado gel a un estado sol y por ende la única forma de disipar energía es fracturándose.

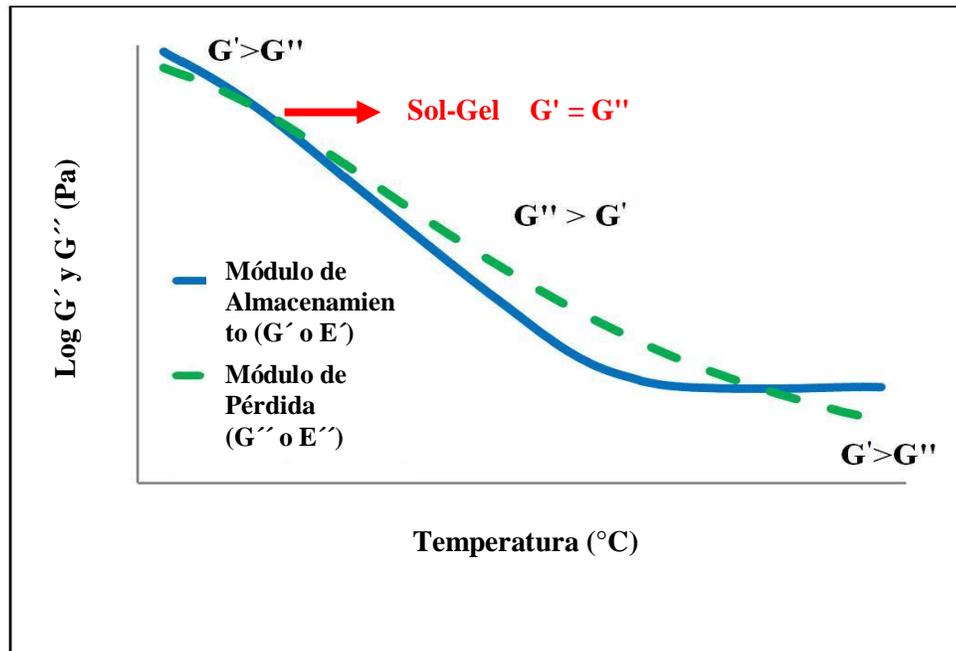


Figura 4.2. Relación entre la Componente Elástica (G') y la componente Viscosa (G'') con el punto Sol-Gel y el comportamiento a fatiga del Asfalto.

Cuando se analizan los dos métodos de ensayo a fatiga tanto en deformación como en esfuerzo controlado, es importante observar cómo es el comportamiento de sus componentes y cómo influyen en la respuesta del asfalto. El ensayo a esfuerzo controlado implementado en nuestro estudio, captura mejor la respuesta del material a la fatiga, pues si la temperatura de ensayo es inferior al punto Sol-Gel el asfalto es susceptible a la fractura.

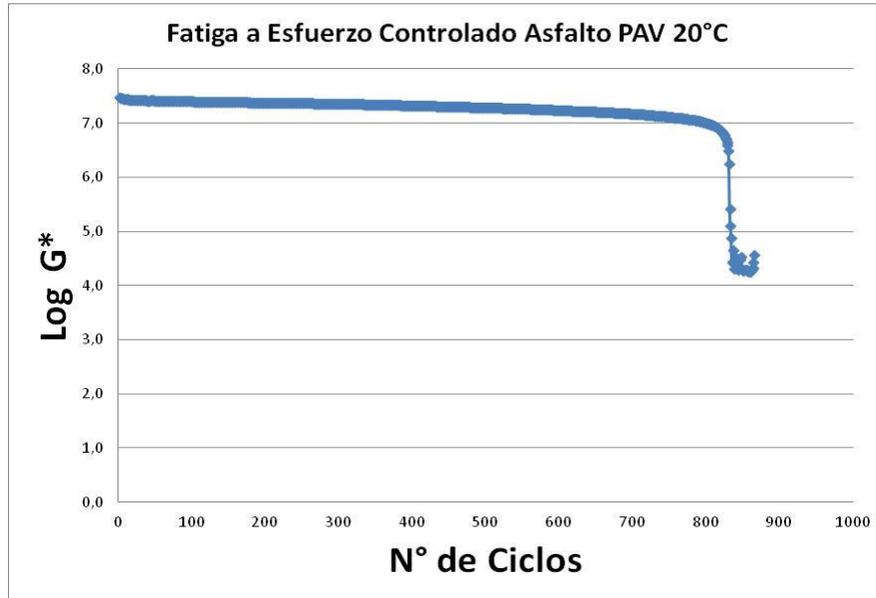


Figura 4.3. Curva de Fatiga de Asfalto a Esfuerzo Controlado.

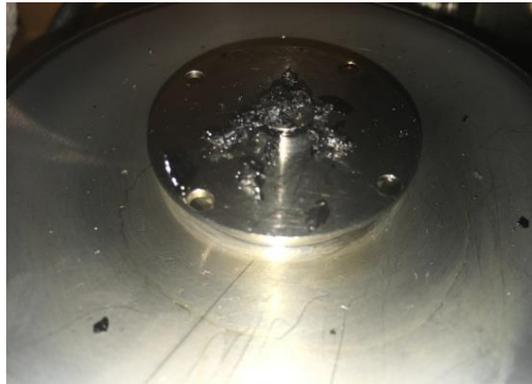


Figura 4.4. Condición del Asfalto después del ensayo a Fatiga de Esfuerzo Controlado.



4.3. Uso de aditivos retardadores de la oxidación en ligantes asfálticos

Objetivo: Evaluar el efecto de diversos aditivos antioxidantes como retardadores de la oxidación de ligantes asfálticos.

La oxidación del asfalto es una reacción impulsada por los factores climáticos tales como temperatura, aire y radiación solar. Dado que la oxidación es un proceso progresivo surge la necesidad de utilizar materiales antioxidantes que reduzcan sus efectos negativos. Por tanto, en la presente investigación se plantea la utilización de vitamina C (ácido ascórbico), cuyas propiedades antioxidantes han sido ampliamente estudiadas. Según estas investigaciones el ácido ascórbico reacciona tanto con la radiación ultravioleta como con el oxígeno del aire, por lo que se espera que retarde la oxidación del asfalto en alguna medida.

La investigación consiste en exponer el asfalto modificado con ácido ascórbico a las condiciones ambientales durante varios meses. Se ha observado una reducción en la oxidación del material mediante Espectrometría de Absorción en el Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés). Actualmente, se están analizando los cambios en la reología del material para establecer si la modificación tiene algún efecto positivo sobre las propiedades mecánicas del asfalto, aún oxidado.

Adicionalmente, se está trabajando con el orujo de uva negra como aditivo en mezclas asfálticas finas (FAM). El orujo es un residuo del procesamiento de la uva por lo que se espera que su contenido de antioxidantes mitigue la reacción de oxidación. Los especímenes de FAM producidos son sometidos a radiación ultravioleta en una recámara (Fig. 5) durante un tiempo determinado.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 27 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

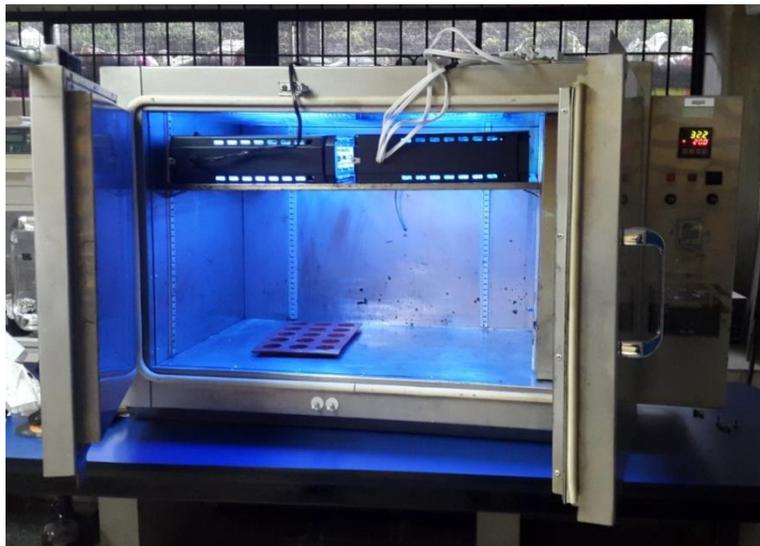


Figura 4.5. Recámara UV para el envejecimiento del asfalto.

4.4. Pavimentos verdes

El impacto ambiental que genera la construcción de carreteras es un tema a considerar en la actualidad. Por esta razón, el uso de aditivos "verdes" que mejoren las propiedades de la mezcla asfáltica sin afectar la ecología es un área de investigación importante. De igual manera, la utilización de residuos industriales como aditivos en mezclas asfálticas ayuda a mitigar el impacto ambiental que tendrían éstos, de ser desechados sin previo tratamiento.

En este sentido, en el LanammeUCR propone el uso del vidrio borosilicato como aditivo en el asfalto. El borosilicato es un material de muy alto punto de fusión, lo que lo hace difícil de incorporar en procesos de reciclaje de vidrio convencional. De esta forma, poder encontrar un uso para este material estaría contribuyendo a reducir la cantidad de residuos generados del mismo.

Adicionalmente, al darle un propósito al borosilicato se podría obtener un beneficio en el asfalto. En el caso del presente proyecto, el asfalto modificado se evaluará en términos de mejora a la resistencia del daño por humedad por medio de goniometría. Además, se evaluarán otras propiedades mecánicas del asfalto, como lo son la resistencia a la deformación permanente y a la fatiga.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 28 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

Adicionalmente, se está evaluando el uso de polipropileno proveniente de billetes de mil y dos mil colones, el cuál fue brindado por el Banco Central de Costa Rica como alternativa de eliminar los billetes descartados. Similarmente, también se está evaluando el uso de PVC, un material de difícil reciclaje. Ambos materiales han demostrado una mejora en la resistencia a la deformación permanente. El polietileno también ha brindado un mejor comportamiento a la fatiga.



Figura 4.6. Muestras del polímero tipo PVC utilizadas en el presente estudio.



Figura 4.7. Muestras de polipropileno utilizadas en el presente estudio.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 29 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



4.5. Determinación del efecto de la temperatura y el tiempo en las características del asfalto

Objetivo: Determinar el efecto de la alta temperatura en el asfalto a través de calentamiento en el horno de acondicionamiento de muestras y las temperaturas recomendadas para la modificación del asfalto en el recipiente de mezclado.

El proyecto tiene el propósito de cuantificar los cambios en las características reológicas y químicas del asfalto, como resultado de exponer muestras de asfalto a las temperaturas regulares de acondicionamiento de 135 °C ,150°C y 165 °C en el horno de acondicionamiento durante 2 horas, 3 horas y 4 horas. Debido al uso extendido del asfalto modificado y de los cambios en las condiciones de producción y almacenamiento, se acondiciona el asfalto en el recipiente de mezclado a las temperaturas y tiempos recomendadas por los fabricantes de los polímeros comerciales más utilizados. Se utilizan los tiempos y temperaturas de modificación del SBR a 170 °C durante 3 horas, del SBS 3:30 horas a 180 °C y del EVA a 190 °C durante 5 horas.

En cada una de las muestras acondicionadas a las temperaturas mencionadas, se envejecerá en el horno rotatorio de capa fina (RTFO, por sus siglas en inglés) y en el Recipiente de envejecimiento acelerado (PAV, por sus siglas en inglés).

La investigación se fundamenta en el efecto que podría tener la pérdida adicional de materia volátil del asfalto (o envejecimiento a corto plazo), como resultado del almacenamiento durante periodos a altas temperaturas, así como el efecto de las altas temperaturas durante largos periodos requeridos para la incorporación de polímeros al asfalto para mejorar el desempeño de los pavimentos.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 30 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

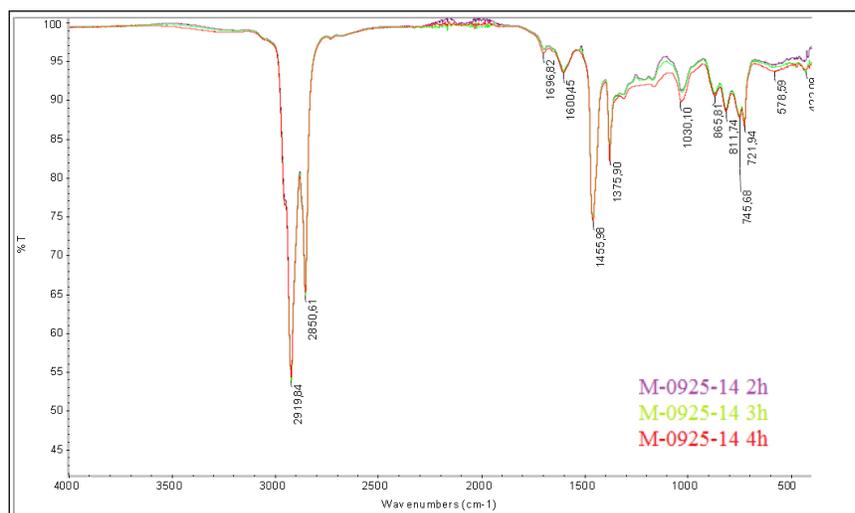


Figura 4.8. Espectro de la muestra de asfalto acondicionada en el horno a 135 °C después del acondicionamiento en RTFO + PAV.

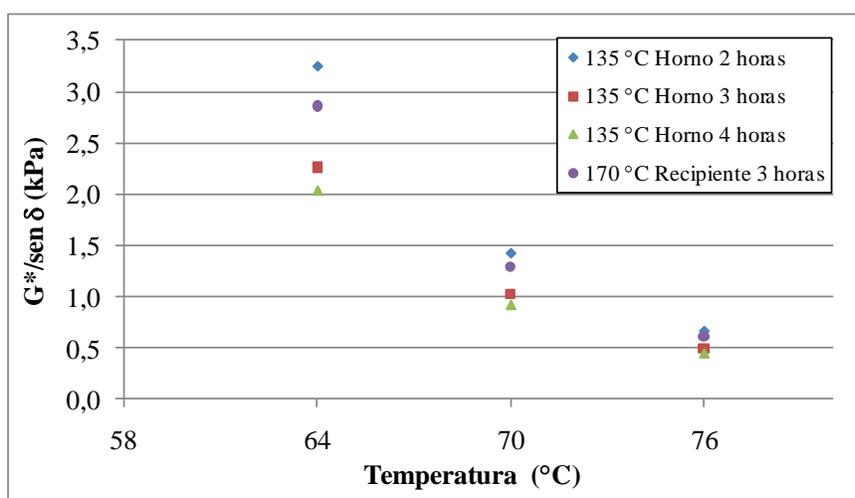


Figura 4.9. Resultados del módulo para las muestras originales

Se concluye que no se producen compuestos químicos relacionados con los procesos de oxidación del asfalto en las muestras que fueron acondicionadas en el horno de convección forzada ni en el recipiente de mezclado, a diferencia de los acondicionamientos que se utilizan en la metodología Superpave, después de los cuales se evidencia la formación de sulfóxidos y carbonilos. Estos ensayos además de temperatura alta incluyen la exposición de la muestra al aire y a la presión.



Lo que sí es posible afirmar es que la pérdida de volátiles rigidiza el asfalto, pero no es posible establecer una correlación directa con la temperatura, lo cual puede ser resultado de la complejidad del asfalto y de las reacciones químicas y cambios que se producen a distintas temperaturas. Lo cual es recomendable estudiar mediante barrido calorimétrico a las temperaturas propuestas

Todas las muestras analizadas son capaces de soportar cargas pesadas de tránsito, excepto la muestra calentada durante 3 horas a 165 °C. En general los resultados no revelan una correlación directa con la temperatura o periodos de calentamiento.

La complejidad del compuesto del asfalto impide establecer una relación simplista de variables para predecir el comportamiento del material, pero es claro que la oxidación se produce por una combinación de factores adicionales a la temperatura y periodos de calentamiento. No obstante, la temperatura y periodo de calentamiento se puede relacionar con la pérdida de volátiles pero no de manera directa.

4.6. Comparación de métodos para cuantificar los componentes SARA del asfalto

Objetivo: Determinar si existe correlación entre la cromatografía SARA que se realiza por el método de columna y la cromatografía SARA por el método de cromatografía capa fina con detector de llama (TLC-FID).

Se han analizado varias muestras de asfalto de uso general en Costa Rica clasificado por grado de viscosidad como AC-30. Las muestras se analizan utilizando cromatografía de columna y con TLC-FID. Para las muestras se cuantifican las cuatro fracciones y se comparan. En el caso de TLC-FID se estudian el efecto de inyectar la muestra total o separada en asfaltenos y maltenos, además de diferentes combinaciones de solventes y tiempos de retención.

Se concluye que la inyección de la muestra total produce mejores resultados que la inyección de los maltenos, ya que la aparición de un pico en el tiempo de retención de los asfaltenos cuando solo se inyectan maltenos genera incertidumbre sobre el cálculo de las fracciones de los asfaltenos.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 32 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



A pesar de las dificultades asociadas a la comparación de los métodos, se logró la correlación de los asfaltenos cuando se usan las condiciones 3 y 4 y la combinación de solventes propuesta por Ecker.

Tabla 4.2. Condiciones de Medición

Condición 3 de lectura		
10 cm	29 min	Hexano
6 cm	10 min	Tolueno
2,5 cm	2 min 45 s	Diclorometano-metanol (95:5)
Condición 4 de lectura		
10 cm	30 min	Hexano
6 cm	10 min	Tolueno
2,5 cm	2 min 45 s	Diclorometano-metanol (95:5)
Condición de Ecker		
10 cm	30 min	n-heptano
6 cm	10 min	n-heptano-tolueno 20:80
2,5 cm	2 min 45 s	tolueno-metanol 95:5

Para comparar los resultados de cada fracción se inyecta cada una y esto permite demostrar que la separación que se realiza de acuerdo con la norma ASTM D 4124, no es completa, pues se evidencian residuos de las otras fracciones en los cromatogramas. Este es una posible razón de dificultad de correlacionar el método de cromatografía de columna y el TLC-FID.

Uno de las posibilidades para obtener resultados que se correlacione mejor con la cromatografía de columna es variar las condiciones de tiempo de los solventes para la combinación de solventes de Ecker.

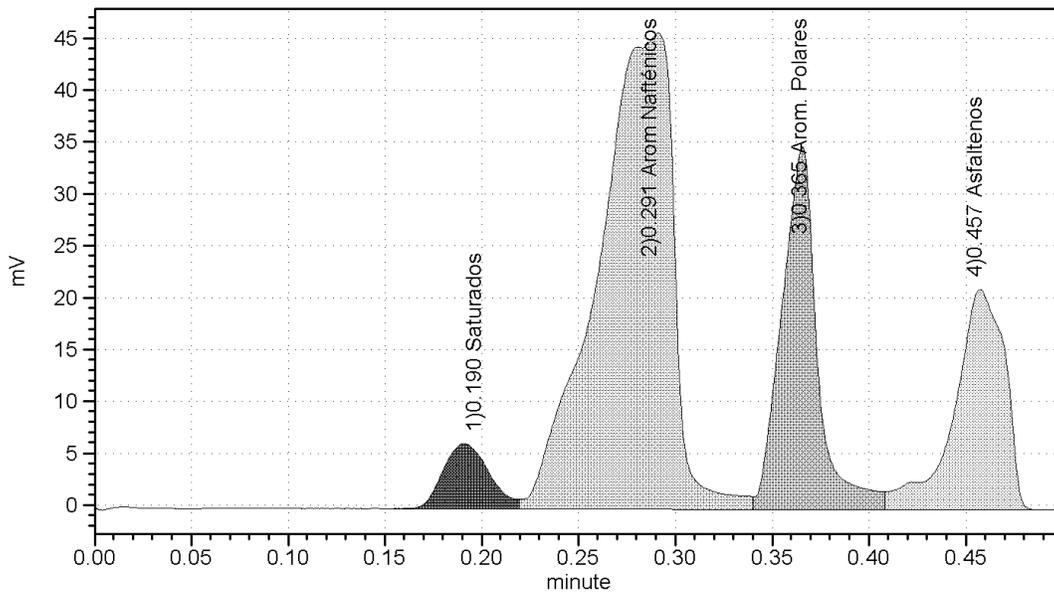


Figura 4.10. Cromatograma obtenido al inyectar la muestra total M1

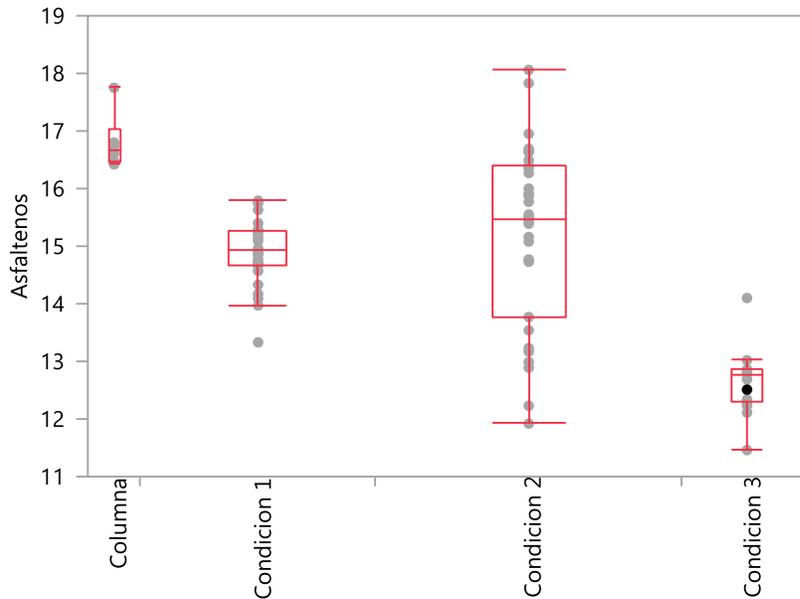


Figura 4.11. Diagrama de los resultados obtenidos para los asfaltenos de la M2 mediante la cromatografía de columna y las 3 condiciones en TLC-FID

Se demostró que a inyección de la muestra total produce mejores resultados que la inyección de los maltenos además de que no se logra una separación completa para todas las muestras, por lo que la



experiencia del operador es muy importante para la interpretación de los resultados y la integración de curvas. Mediante la inyección de las fracciones individuales se demuestra que la separación que se realiza de acuerdo con la norma ASTM D 4124, no es completa, pues se evidencian residuos de las otras fracciones en los cromatogramas. Este es una posible razón de dificultad de correlacionar el método de cromatografía de columna y el TLC-FID

Se obtuvo un procedimiento que permite la correlación de los asfaltenos cuando se usan las condiciones 3 y 4 y la combinación de solventes propuesta por Ecker. Adicionalmente si se utilizan los criterios de aceptación definidos en la norma ASTM D 4124 se puede decir que además de los asfaltenos, la fracción de los saturados produce resultados comparables entre el método de cromatografía de columna y las condiciones 3 y 4 y otros solventes cuando se analiza la muestra M3

4.7. Asfalto modificado con caucho

Objetivo: Analizar la prefactibilidad técnica de una planta de molienda de llantas para la producción de asfalto modificado con caucho

Está en la etapa final de redacción. Se estudiaron las opciones disponibles en Costa Rica para instalar una planta que extraiga el caucho de las llantas que se desechan en Costa Rica. Se analiza la disponibilidad de materia prima, la inversión que se debe realizar y los costos que se deben asumir obteniendo los datos de experiencias internacionales y de entrevistas realizadas a diferentes actores del sector que estarían involucrados.

Se demuestra que, si no hay un interés de la Administración por utilizar asfalto modificado en los proyectos, el proyecto no es financieramente factible, pues no es posible asegurar el consumo del producto, a pesar de que si es técnicamente factible

Después del análisis, se determina que la molienda a temperatura ambiente es la mejor opción por ser un proceso puramente mecánico, que no requiere del intercambio calórico, y no produce emisiones al medio ambiente. Reduce las llantas fuera de uso hasta partículas de caucho hasta partículas que pasan

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 35 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

por la malla 30 (0,58 mm) y cuentan con sistemas de separación que retiran pedazos de metal y textil del producto final que se pueden vender como subproductos

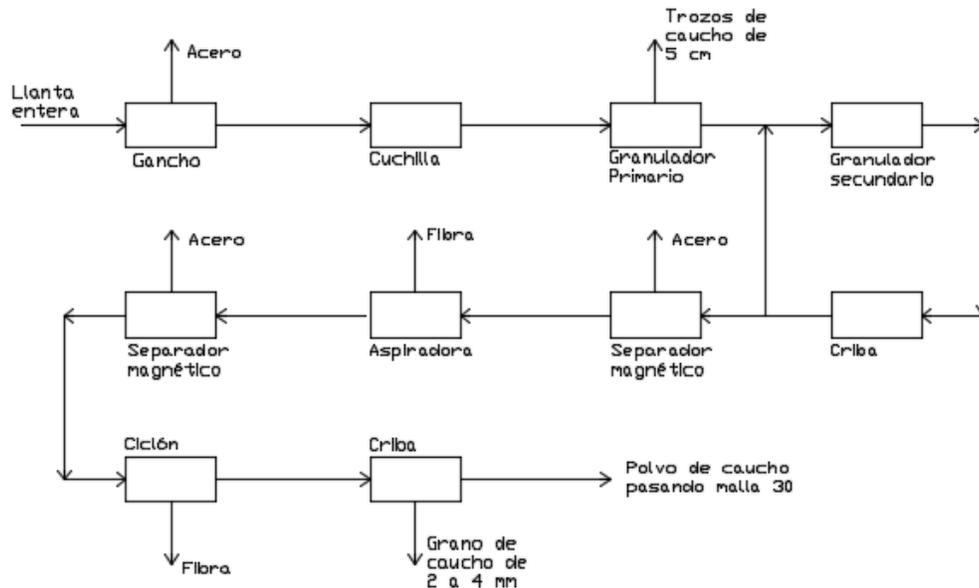


Figura 4.12. Diagrama del proceso de molienda mecánica a temperatura ambiente.

4.8. Cuantificar V, Ni y Zn en el asfalto por espectroscopia de absorción atómica

Objetivo: Desarrollar un método por la técnica de espectroscopia de absorción atómica en llama para medir la concentración de V, Ni y Zn contenidos en muestras de asfalto original.

La Espectroscopía por Absorción Atómica es una técnica que se utiliza en gran medida para la cuantificación de casi todos los metales que contienen las muestras provenientes de petróleo. Constituye una de las técnicas más empleadas para la determinación de más de 60 elementos, puede detectar en el rango de $\mu\text{g/ml}$ - ng/ml , se aplica en una gran variedad de muestras entre los que se pueden mencionar aguas, muestras geológicas muestras orgánicas, metales y aleaciones, petróleo y sus subproductos; y una amplia gama de muestras de industrias químicas y farmacéuticas y presenta alta especificidad, sensibilidad y facilidad de operación, pero es un método de determinación unielemental, la muestra debe ser trata previamente y debe estar en estado líquido.



Después de realizar los análisis se puede afirmar que los métodos de digestión por microondas no son apropiados ni seguros para el tratamiento de muestras de asfalto ya que implica alto riesgo de explosión, pérdida de muestra y deterioro de los materiales como los tubos de microondas y potencial daño al equipo, lo que implica un gasto económico significativo pero se puede usar la calcinación siempre y cuando la concentración del metal a analizar se alta.

El mejor método para el tratamiento de muestras de asfalto es la dilución con solvente orgánico (*mineral spirits*) ya que no genera ningún riesgo de explosión, no hay exposición a ácidos, no hay riesgo de pérdida de muestra, el procedimiento es más rápido, abarca un tamaño un máximo de 2 g que permite una dilución adecuada. Se miden patrones, se hace la curva de calibración para cada elemento y se elaboran muestras de concentración conocida para evaluar el método.

4.9. Asfalto modificado con biopolímeros

Objetivo: Evaluación del desempeño y del cambio en las propiedades físico-químicas y reológicas del asfalto modificado con materiales de desecho. Fuente biopolímeros.

Se utilizan como biopolímeros cáscara de camarón como fuente de quinina y aserrín como fuente de celulosa y lignina. Se caracteriza el material mediante técnicas químicas y calorimétricas para determinar el comportamiento a distintas temperaturas y el efecto que se esperaría en los compuestos químicos que aportan los biopolímeros. Mediante los estudios calorimétricos se establecen las condiciones de modificación iniciales.

Se establecen dosis y condiciones, evaluando el grado de desempeño plus. Cuando se determinan las mejores condiciones de modificación se analiza el grado de desempeño completo para corroborar que cumple con las especificaciones deseadas y se realiza el ensayo de ABS para determinar si el efecto de en la adhesión es positivo.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 37 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Figura 4.13. Material fuente de biopolímeros.

4.10. Asfalto modificado con plástico de recipientes de plásticos

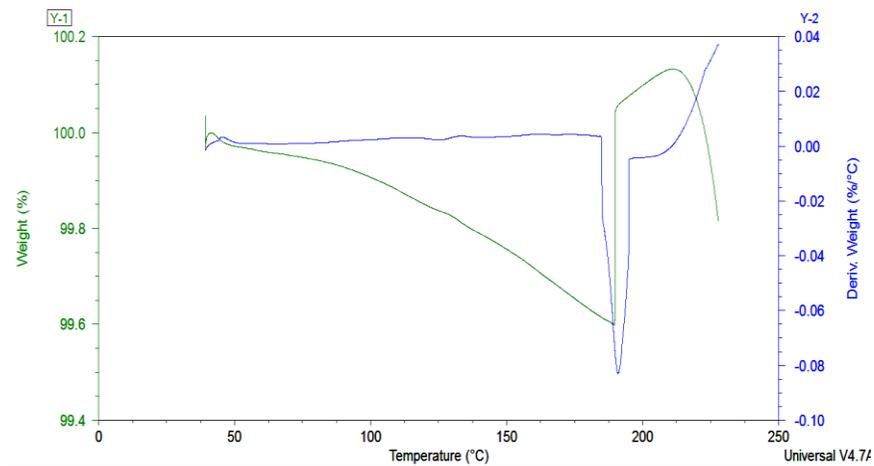
Objetivo: Determinación de condiciones óptimas para la modificación de asfaltos con plástico reciclado proveniente de botellas de agroquímicos con base en grado de desempeño, reología y propiedades fisicoquímicas.

Se utiliza plástico de alta densidad que es entregado molido. Se caracteriza mediante calorimetría y espectroscopía. Se empleó un diseño factorial 2^3 para la modificación de asfalto modificado con plástico proveniente de botellas de agroquímicos. Se establecerán los niveles altos y bajos de las variables de trabajo para la elaboración del asfalto modificado. Las variables del diseño factorial serán temperatura, tiempo y porcentaje de polímero, manteniendo constante la velocidad de agitación. Las muestras se elaboraran siguiendo el procedimiento estándar establecido en el LanammeUCR.

Mediante parámetros reológicos se selecciona la combinación que demuestra mejor desempeño y a la combinación seleccionada se le realiza la caracterización completa.



(a)



(b)

Figura 4.14. a) Recipientes de agroquímicos usados como fuente de material y b) termograma del material

4.11. Medición de carga superficial de asfalto y agregados calcáreos y silíceos de Costa Rica

Objetivo: Desarrollar una metodología para la medición de carga superficial de asfaltos y agregados calcáreos y silíceos de Costa Rica.

Con base en una investigación bibliográfica se pretende determinar las diferentes metodologías para medir la carga superficial de materiales. Se compararán y seleccionarán los que se adecúen según las propiedades del asfalto, y se analizarán los recursos disponibles en el LanammeUCR (materiales, equipos de medición, estándares de medición, entre otros) para definir el método de medición, realizando ajustes a la metodología obtenida con base en la investigación bibliográfica, de ser necesario, así como realizando ensayos de prueba.

Se definirá la herramienta estadística más adecuada para evaluar la repetitividad y reproducibilidad de las metodologías definidas, y se realizarán las corridas experimentales requeridas según la herramienta estadística. Los resultados de las corridas experimentales se analizarán con software estadístico para obtener las conclusiones del estudio.

Siguiendo las normativas de documentación del LanammeUCR, se escribirá la metodología de medición de la carga superficial de asfalto y agregados calcáreos y silíceos para ser implementado en dicha institución.

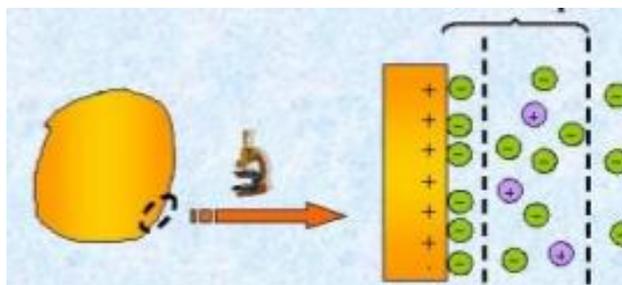


Figura 4.15. Carga eléctrica superficial



4.12. Espectro Infrarrojo del Asfalto

Objetivo: Evaluar asfaltos de distintas fuentes a nivel mundial para generar una base de datos de la huella química de este material.

Este es un proyecto continuo pues se solicitan constantemente muestras asfálticas de investigadores y productores a nivel mundial. Se han analizado muestras de asfalto modificado y con distintos tipos de acondicionamiento. La información se almacena y se utiliza como insumo de distintas investigaciones. Se continuarán analizando asfaltos.

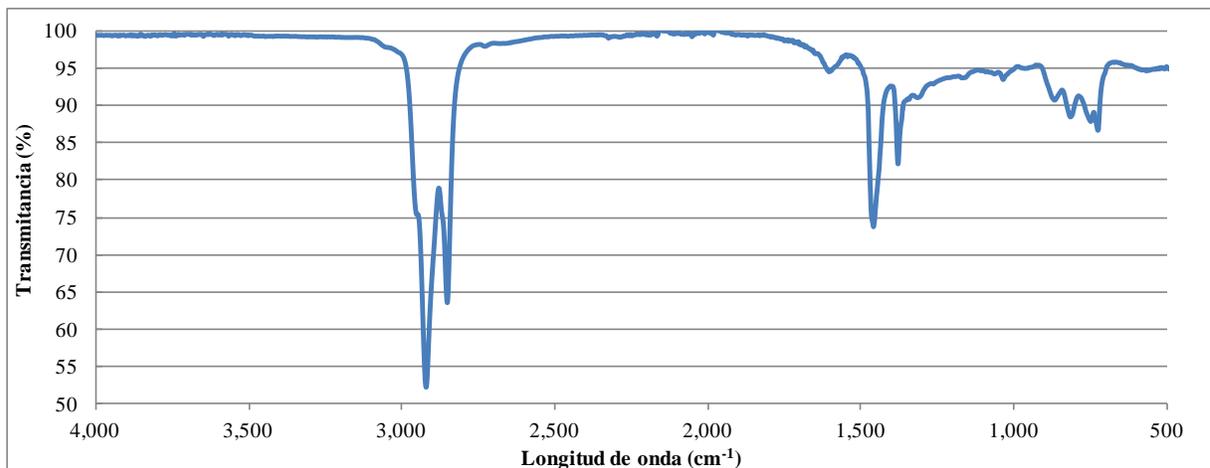


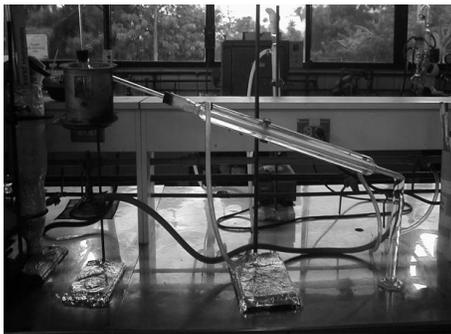
Figura 4.16. Espectro infrarrojo de una de las muestras recibidas.

Está en proceso, se han generado muchos resultados, falta el análisis de los espectros que se han producido hasta el momento. Se ha logrado determinar como primera observación que si se superponen los espectros de ligantes asfálticos sin envejecer y sin modificar con polímeros estos independientemente de la fuente muestras un comportamiento muy similar, en cuanto grupos funcionales generales que se obtienen por FTIR.

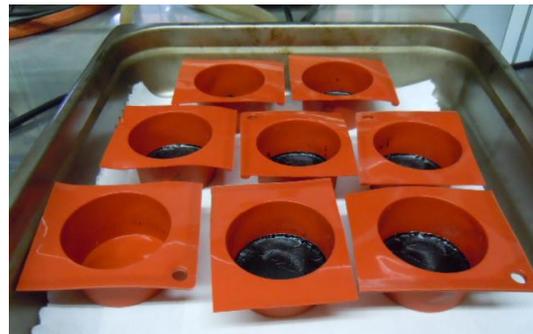
4.13. Comparación de los métodos de cuantificación del residuo de emulsiones asfálticas

Objetivo: Cuantificar la diferencia existente entre los métodos de determinación de residuo de emulsión asfáltica e indagar si existe correlación entre los métodos.

Para comparar los métodos se hacen dos tipos de comparaciones, la primera es estimar el residuo de las emulsiones que se distribuyen en el país a través de los métodos de destilación según la norma ASTM D 6997, de evaporación a alta temperatura de acuerdo con la norma ASTM D 6934 y los dos métodos de evaporación a baja temperatura, según la norma ASTM D 7497. Con los resultados preliminares se ha definido el esquema experimental y elaborado una propuesta de trabajo.



(a)



(b)

Figura 4.17. (a) Equipo para la destilación de emulsiones asfálticas y (b) muestras de evaporación a baja temperatura de emulsiones asfálticas

4.14. Reología de residuos de emulsión asfáltica

Objetivo: Determinación de características reológicas que permitan predecir el desempeño de las emulsiones asfálticas.

Como resultado de un estudio que solicita el Laboratorio de Materiales de la AASHTO (ARML, por sus siglas en inglés) en el cual se incluyen análisis reológicos de los residuos, se decide analizar el comportamiento de los residuos de acuerdo con su comportamiento distintas temperaturas y frecuencias, por lo que se elabora la plantilla correspondiente en el equipo y se analizan los residuos de las emulsiones que se comercializan en el país.

Se pretende determinar características que ayuden a predecir el desempeño de las emulsiones en el campo. Con los resultados preliminares se ha definido el esquema experimental y elaborado una propuesta de trabajo.



(a)



(b)

Figura 4.18. (a) Equipo de medición reológica y (b) muestra para medición reológica

4.15. Análisis químico de los residuos de la emulsión asfáltica

Objetivo: Determinación de las propiedades químicas del residuo de la emulsión asfáltica obtenido a través de diferentes métodos utilizando espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier.

La destilación de la emulsión asfáltica tiene como propósito separar el asfalto del agua y de los aceites que la componen, sin embargo, los métodos de evaporación, separan principalmente el agua que se evapora con el tiempo por exposición a alta temperatura o por exposición al ambiente, según el método que se utilice.

Es muy probable que el aceite no se elimine con el tiempo, por lo que puede afectar el desempeño y los resultados de los ensayos de calidad.

Con los resultados preliminares se ha definido el esquema experimental y elaborado una propuesta de trabajo.

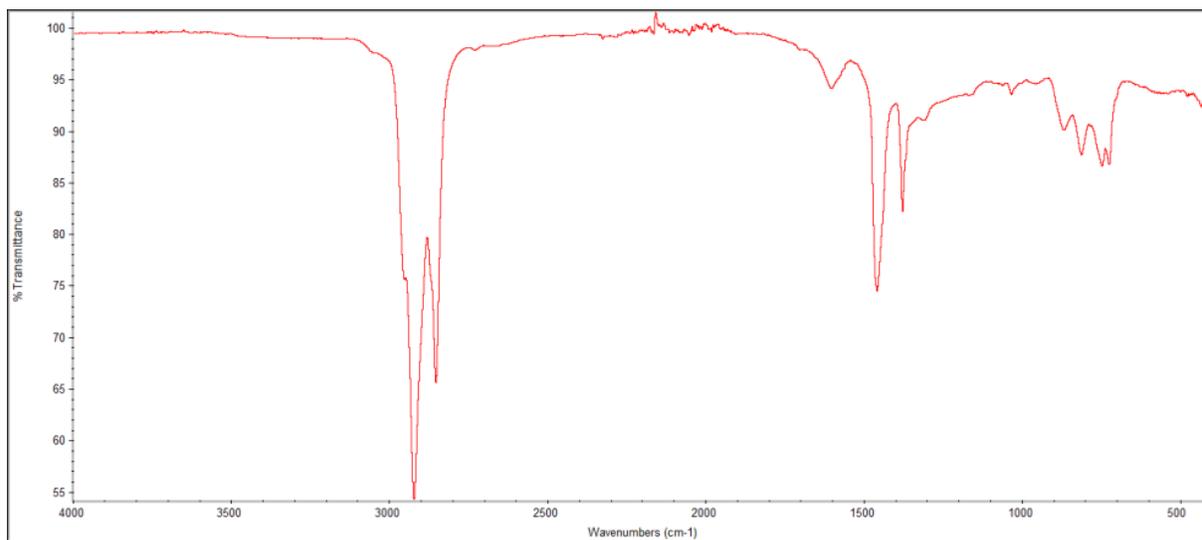


Figura 4.19. Espectro infrarrojo de residuo de la emulsión obtenido por destilación

5. CONSERVACIÓN VIAL

5.1. Diseño de sellos de lechada asfáltica y microcapa

Objetivo: Promover el uso de técnicas de preservación mediante guías de diseño en laboratorio en sellos de lechadas asfálticas y microcapas

En países centroamericanos aún con menor cantidad de kilómetros pavimentados, utilizan técnicas de preservación mediante las cuales permiten preservar en buen estado las vías en un mayor periodo, a un menor costo en comparación con las intervenciones de rehabilitación o reconstrucción cuando el deterioro es más severo por no haberse dado ningún mantenimiento preventivo.

Por esta razón en Costa Rica es necesario el uso de este tipo de técnicas como lo son los sellos de lechada asfáltica o microcapas, en aquellas rutas nuevas o en mejor estado, de modo tal que su condición perdure así en un mayor tiempo. En el periodo anterior del proyecto se logró la aprobación por parte de la Administración "La guía de laboratorio para el diseño de sellos de lechada asfáltica", por lo que en esta segunda etapa se pretende incluir el procedimiento de diseño para microcapas.

El agregado escogido en la fase previa se verificó la granulometría y funciona correctamente para las condiciones de ensayo que se solicitan en la normativa. Así mismo, se cuenta con la fórmula correcta de la emulsión para la realización del diseño en función del tiempo de mezclado, tiempo de agua clara y tiempo set con las que el sistema de agregado-emulsión funciona adecuadamente según las especificaciones establecidas en las normas ISSA (International Slurry Surfacing Association). Por lo que ya se tiene la formulación de la emulsión CQS-1H que cumple con los tiempos requeridos.

Por parte de Recope se produce únicamente y bajo pedido la CSS-1h, sin embargo, desde finales del año pasado se empezó a producir emulsiones de este tipo con un emulsificante de un proveedor diferente al que anteriormente utilizaban, con lo cual los tiempos establecidos de mezclado no sean los deseados. Esto se les ha hecho saber, sin embargo, quien tiene la responsabilidad de velar porque la emulsión tenga un correcto desempeño en cada aplicación es Recope y la Administración.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 45 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



En los próximos meses se realizarán los respectivos ensayos del diseño de la microcapa con la emulsión y el agregado escogidos para una granulometría Tipo II, de acuerdo a lo que se propuso en la Guía.



Figura 5.1. Agregado con granulometría Tipo II para los ensayos de diseño en microcapas

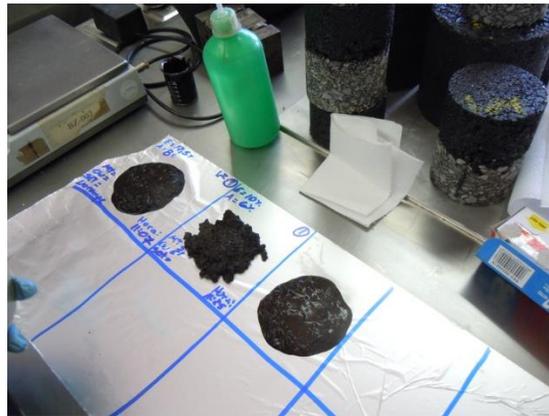


Figura 5.2. Ensayos de diseño para microcapas

5.2. Guía de diseño de emulsiones asfálticas

Objetivo: Estudiar las propiedades de las emulsiones asfálticas, para el cumplimiento de especificaciones y su desempeño en las técnicas de preservación.

Actualmente, sólo se dispone de emulsiones de rompimiento rápido y ocasionalmente por solicitud del MOPT, produce una cantidad muy pequeña de emulsión de rompimiento lento. Sin embargo, esto reduce significativamente la posibilidad de su uso en aplicaciones constructivas y de preservación de



pavimentos, principalmente en técnicas en las que es factible rehabilitar rutas de bajo a medio volumen de tránsito, donde ciertas poblaciones tendrían una alta mejoría en sus calidades de vida en épocas de invierno o de mucha sequía. Es por esto que el proyecto busca una equidad entre la calidad de producción y el desempeño que finalmente éstas ofrezcan en las diferentes técnicas de aplicación. Comenzando por un diseño de la formulación en función del agregado, aplicación en campo y las condiciones en dónde será aplicada.

Para este estudio se tienen cuatro fases:

1) Establecer un procedimiento estándar para la producción de emulsiones asfálticas a nivel de laboratorio, el cual ya se concluyó a través de dos proyectos de graduación: Diseño de mezcla de laboratorio para los sellos asfálticos "Chip Seal" para su utilización en Costa Rica y elaboración del manual; y el otro: Propuesta de un manual para el diseño del material en tratamientos superficiales de una, dos y tres capas en Costa Rica.

2) Analizar el comportamiento de las emulsiones asfálticas en el tiempo, sin embargo, para esta fase dado que aún no se cuenta con un equipo provea la cantidad de producción suficiente para llevarla a cabo, se modificó a proponer un protocolo de ensayos para el control de desempeño en las emulsiones que se produzcan en el país, en las técnicas que actualmente se aplican en Costa Rica. Es decir, las de rompimiento rápido CRS-1 en los riegos de liga y en los tratamientos superficiales (TS-1), y para las de rompimiento lento CSS-1h en la estabilización de bases granulares y en sellos de lechada asfáltica, a pesar de que éstas aún no se han colocado. aprovechando que ya hay un avance en el proyecto de investigación de riegos de liga, se buscará aplicar los ensayos ya implementados es éste para el replicarlas con las CRS-1 de Recope.

3) Aplicación de las emulsiones asfálticas en las diferentes técnicas de preservación en Costa Rica y 4) Correlación de los resultados entre lo obtenido en la 2) y los resultados de la aplicación de las técnicas de la 3).

Se aprovecharán los ensayos ya implementados en los proyectos de "Diseño de sellos de lechada asfáltica y microcapas", "Diseño de materiales para tratamientos superficiales" y "Materiales Estabilizados con Emulsión", con el fin de definir un plan de verificación del desempeño de las

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 47 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



emulsiones con cada prueba. Asimismo, se está desarrollando un proyecto de tesis con un estudiante para la confección de una guía de laboratorio con el uso de emulsiones de rompimiento rápido en tratamientos superficiales.



Figura 5.3. Ensayos de desempeño a evaluar cada quincena para las CRS-1 y cada vez que se produzca las CSS-1h

Se dio un gran acercamiento entre el LanammeUCR y Recope a través de un Taller que se impartió para explicarles los procedimientos en el control de calidad y los ensayos para la determinación del desempeño de las emulsiones en campo.

5.3. Diseño de materiales granulares con asfalto espumado

Objetivo: Establecer procedimientos de ensayo para diseño de estabilización de materiales granulares con asfalto espumado.

Las técnicas de estabilización con agentes de diferentes fuentes, permiten en la mayoría de los casos reutilizar los materiales existentes, de manera que es posible reducir las excavaciones de canteras o extracciones de ríos y a su vez no tener que recarpetear por encima de los niveles existentes o del diseño original. Por lo que es a través de este proyecto en conjunto con el de la guía de diseño de materiales granulares con emulsión asfáltica, que se presentan las técnicas de estabilización de materiales granulares con bitumen, con un menor costo, mayor facilidad en su aplicación, menos tiempo de cierre en las vías en las que se aplica y con la posibilidad de reutilizar el material existente, promoviendo con ello reducir los efectos negativos en el medio ambiente.

El gran objetivo de ambos proyectos desarrollados en paralelo es proponer una guía para laboratorio, definir especificaciones, procedimientos de diseño y posteriormente pautas constructivas que brinden herramientas para la aplicación de técnicas como la estabilización de materiales granulares con asfalto espumado.



Figura 5.4. Calibración del asfalto para obtener el máximo espumado.



Figura 5.5. Ensayos de caracterización para estabilización de bases granulares asfalto espumado, Módulo resiliente y triaxial

Se concluyó la etapa de diseño para hallar el porcentaje óptimo de asfalto residual, con el cual se llevó a cabo el ensayo de triaxial y módulo resiliente, para establecer las características de resistencia máxima esperadas de este tipo de estabilizaciones en comparación con un material sin estabilizarse.



En la etapa final, se están estudiando los ensayos de desempeño para medir la deformación en el material para las condiciones de humedad óptima y contenido de asfalto de diseño, donde posteriormente se coordinará la colocación de un pequeño tramo para correlacionar los resultados de laboratorio con las corridas en el HVS.

5.4. Diseño de materiales granulares con emulsión asfáltica

Objetivo: Establecer una metodología de diseño en laboratorio para estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica.

Al igual que con el proyecto de bases estabilizadas con asfalto espumado, se pretende estudiar el uso de emulsión asfáltica como estabilizador de materiales granulares y obtener un adecuado desempeño como capas intermedias en caminos de medio a alto volumen de tránsito o capas de rodamiento para bajos volúmenes de tránsito, siempre que se coloque un sello impermeabilizante.

La principal meta de esta investigación, es establecer de manera práctica una guía de diseño de materiales granulares estabilizados con emulsión asfáltica para caminos de bajo a medio o alto volumen de tránsito.

En etapas anteriores se determinó que el uso de filler es de suma importancia para alcanzar las resistencias mínimas especificadas de diseño (1,5% de cal o 1% cemento), por lo que en esta siguiente etapa se persigue estudiar qué tan eficiente se logra desempeñar el material estabilizado con emulsión. De igual forma que en el proyecto de bases estabilizadas con asfalto espumado, se obtuvo el contenido de asfalto óptimo según el diseño realizado en las etapas anteriores, posteriormente se llevaron a cabo los ensayos de módulo resiliente y triaxial, con los cuales se conoce las características del material para los esfuerzos aplicados.

Como una forma de hacerle llegar al sector las pautas para el diseño y el análisis de los resultados de los materiales granulares estabilizados con asfalto se impartió un curso al sector de carreteras para dar a conocer estos conocimientos adquiridos en todo el proceso de investigación.

En la siguiente fase se definirá un protocolo de ensayo para medir el desempeño de estos materiales: procedimiento para llevar a cabo el ensayo de triaxial de carga repetida ya sí obtener la deformación

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 50 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

permanente, con la limitante que esto se realizó únicamente en materiales granulares sin estabilizar. Por lo que se requiere investigar si será posible realizar el ensayo modificado para las bases estabilizadas con asfalto espumado y con emulsión asfáltica.



Figura 5.6. Pruebas de desempeño para determinación de la deformación permanente en el material estabilizado con emulsión asfáltica.

5.5. Diseño de materiales para tratamientos superficiales

Objetivo: Elaborar un manual de diseño en laboratorio para tratamientos superficiales de dos y tres capas en Costa Rica.

Debido a la alta demanda de solicitudes por parte del sector en general por tener a disposición un manual de diseño en conjunto con especificaciones certeras del uso de técnicas como los son los

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 51 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



tratamientos superficiales, es que se llevó a cabo la implementación ensayos de tratamientos superficiales para laboratorios en busca de disminuir las deficiencias en el desempeño de esta aplicación en campo. Se elaboró un manual para el diseño de tratamientos superficiales que impulsará el uso de esta técnica de una manera más eficiente, y así mejorar el estado actual de los caminos de bajo a medio volumen de tránsito.

Mediante la formulación adecuada de una emulsión de rompimiento rápido de alta viscosidad CRS-2 y un correcto uso de los agregados es posible obtener los resultados esperados. En este proyecto se evaluó el diseño de una emulsión formulada acá en LanammeUCR y de una producida en Recope, con el propósito de observar ambos comportamientos en la técnica. Esto mediante la realización de dos ensayos establecidos en las prácticas internacionales, los cuales son la prueba de barrido y el ensayo de Vialit.



Figura 5.7. Pruebas de barrido en tratamientos superficiales con emulsiones diferentes

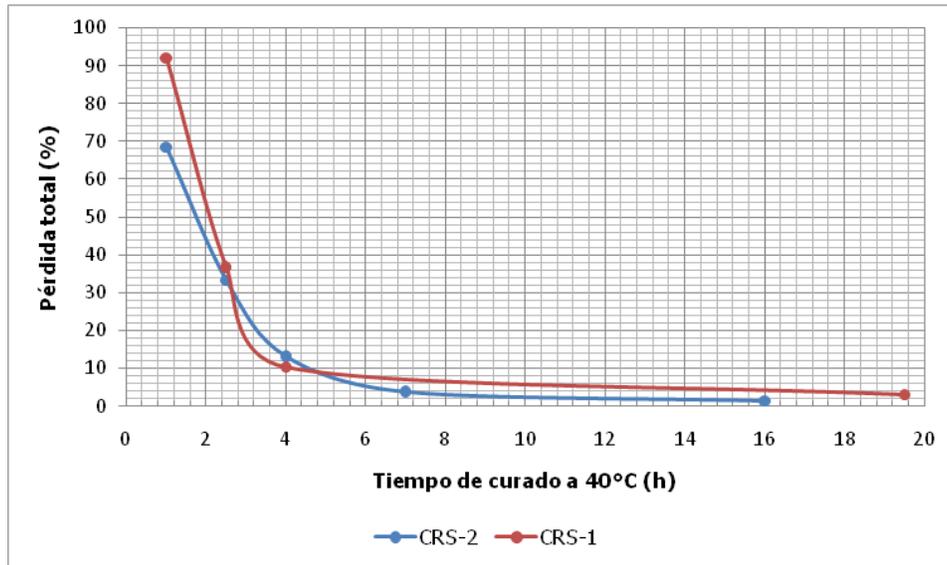


Figura 5.8. Resultados de prueba de barrido entre dos emulsiones ensayadas para un TS-1

La tecnología también se buscó calibrar mediante el uso de ensayos a escala real en el PaveLab. Se colocó tres baches en el tramo de estudio del HVS en el LanammeUCR. Uno para un respectivo tipo de tratamiento TS-1 TS-2 y TS-3, utilizando la emulsión producida en el LanammeUCR (CRS-2).



Figura 5.9. Tratamientos simples, de dos y tres capas colocados en el HVS.



5.6. Implementación de la compactación mediante el martillo vibratorio

Objetivo: Establecer un protocolo de ensayo para la compactación de especímenes de diferentes ensayos en materiales granulares y estabilizados mediante compactador vibratorio

Tratando siempre de que la compactación en laboratorio simule lo mejor posible el tipo de compactación y condiciones que se dan en el campo, es que se propone realizar una investigación para implementar un método de laboratorio para la compactación vibratoria de materiales granulares, que facilite la elaboración de especímenes para diferentes ensayos y que sea representativo a la compactación en campo. Donde el grado de compactación y humedad en campo satisfaga las propiedades físicas y mecánicas esperadas.

Las fases del proyecto consisten en:

- 1) Estudiar y fabricar el equipo requerido para elaborar especímenes por medio de compactación vibratoria.
- 2) Realizar ensayos de relación humedad-densidad con materiales granulares utilizando compactación AASHTO modificado y compactación vibratoria.
- 3) Elaborar un procedimiento de laboratorio para compactación vibratoria de especímenes para los ensayos de relación densidad-humedad, resistencia a la tensión indirecta y triaxial.

Para lo cual el equipo ya está construido e instalado aquí en el laboratorio y se están comenzando a realizar las pruebas para ajustes del mismo e implementación de los ensayos respectivos.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 54 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Figura 5.10. Compactador vibratorio instalado en el laboratorio.



Figura 5.11. Pruebas de compactación para especímenes de Próctor Modificado

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 55 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



5.7. Implementación de metodología para la evaluación del desempeño de riegos de liga

Objetivo: Evaluar la adherencia y el desempeño entre las capas de mezcla asfáltica que componen el pavimento mediante ensayos de laboratorio a cortante y tensión.

El riego de liga es una aplicación de emulsión asfáltica entre las capas de mezcla asfáltica que componen el pavimento, lo cual hace que funcionen dichas capas mónolíticamente y se desempeñen de manera eficiente. Cuando la adherencia de los materiales utilizados para el riego de liga es deficiente producen en los pavimentos una disminución de la capacidad estructural, provocando fallas y deterioros.

Por ello es importante cuantificar la adherencia entre capas asfálticas de forma que se pueda definir claramente que materiales o condiciones pueden debilitar la unión entre capas y provocar fallas prematuras en el pavimento. Los factores que pueden influir en la adherencia son muchos, pero entre ello se puede mencionar el tipo emulsión asfáltica como uno de los principales.

Por supuesto, las propiedades de la emulsión asfáltica corresponden a uno de los factores principales que afectan la adherencia. En Costa Rica se aplica el riego de liga con la emulsión CRS-1 (Emulsión Catiónica de rompimiento rápido). Esta investigación está enfocada en evaluar el desempeño de los materiales utilizados para riegos de liga, para ello se realizaron ensayos de laboratorio que permiten determinar la adhesión de estos materiales. En los resultados, se observa un desempeño deficiente en la emulsión CRS-1 producida actualmente por Recope; esta deficiencia según los resultados de laboratorio se debe a la adición de un aceite pesado derivado del petróleo denominado como Bunker-C que afecta negativamente el desempeño del asfalto residual.

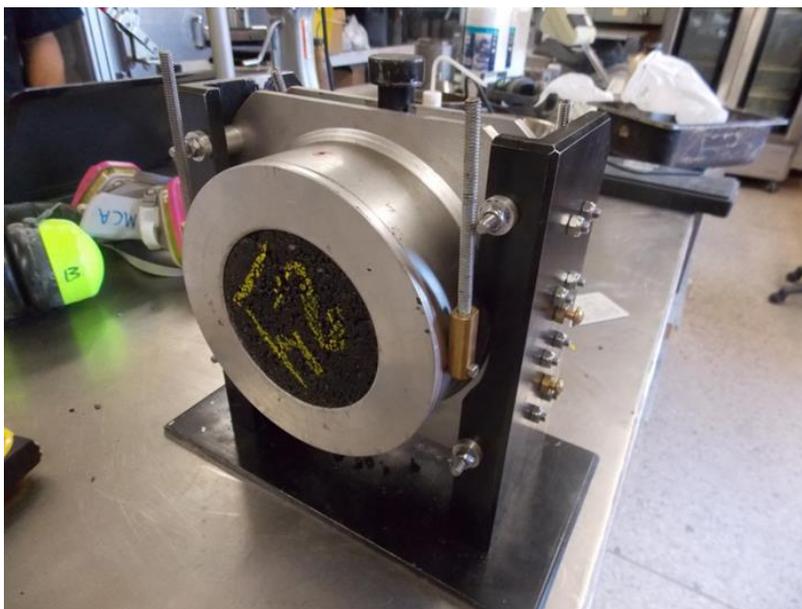


Figura 5.12. Dispositivo de ensayo desarrollado en LanammeUCR

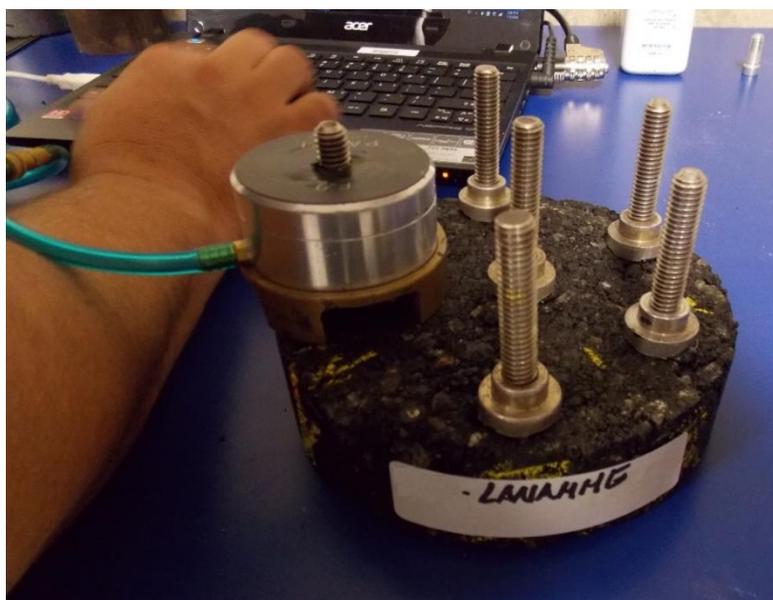


Figura 5.13. Implementación de ensayo ABS (Asphalt Bond Strength) para evaluación de adherencia de asfalto residual de emulsiones asfálticas utilizadas en riegos de liga.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 57 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



5.8. Evaluación del desempeño y metodología de diseño para bacheo mediante técnica de inyección

Objetivo: Desarrollar una metodología de diseño, evaluación del desempeño y control de calidad de mezclas asfálticas en frío para bacheo mediante la técnica de inyección.

Uno de los mayores problemas que enfrentan las instituciones encargadas del mantenimiento de carreteras es la reparación de los baches en el pavimento. Tratar oportunamente y eliminar estos tipos de deterioros es crítico para el correcto desempeño de los pavimentos, sin ello la intrusión del agua dentro de la base granular y tráfico continuo destruyen el pavimento en un corto periodo de tiempo.

Recientemente, el desarrollo del método de inyección para la reparación de superficies asfálticas, también conocido como “spray patching”, ha resultado en un proceso altamente mecanizado para la reparación de deterioros en el pavimento. Este método se realiza mediante un sistema que permite el transporte del asfalto y el agregado, mezclar los materiales y reparar el deterioro con un solo equipo y operador.

Para la reparación de los baches tradicionalmente se han utilizado dos métodos: “llenado y compactación” y el “semi permanente”. Después de la aparición del método de inyección el Programa Estratégico de Investigación en Carreteras (SHRP) llevo a cabo un estudio bastante objetivo en el cual comparaban los tres tipos de reparación, en los cuales después de un análisis económico el método de inyección presenta una clara ventaja ante los métodos tradicionales de reparación.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 58 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

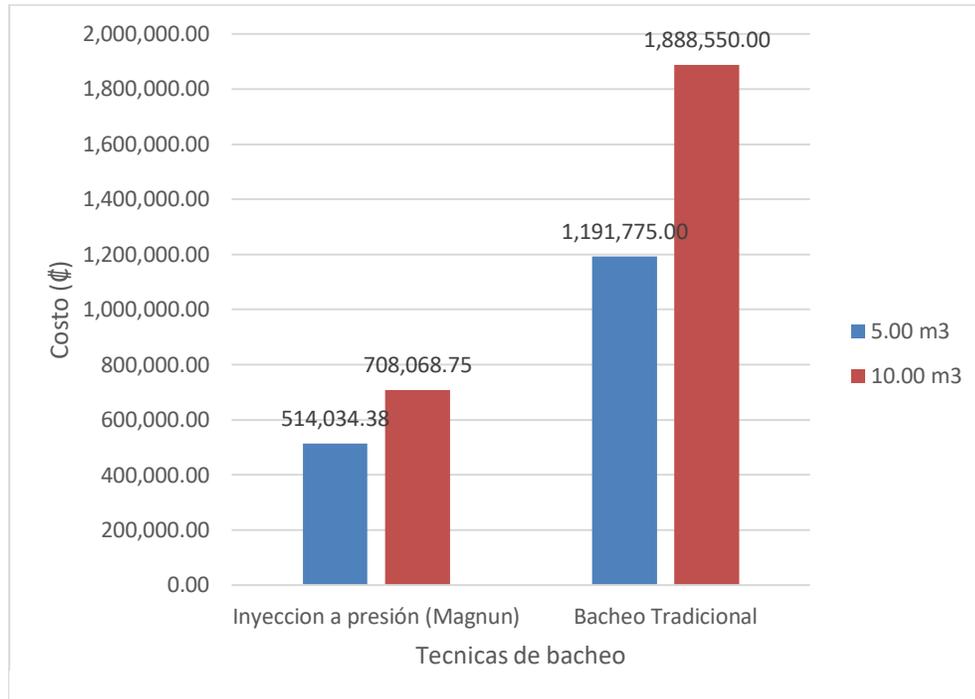


Figura 5.14. Comparación de costos globales para Costa Rica entre bacheo a presión y bacheo tradicional.

En Costa Rica se vuelve necesaria la implementación de alternativas de fácil aplicación y costos bajos para el mantenimiento vial, por lo que la metodología de inyección para el llenado de baches se vuelve una opción que satisface las necesidades costarricenses. En esta etapa se han analizado las propiedades mecánicas y durabilidad de este tipo de mezclas con ensayos sencillos de aplicación como por ejemplo el ensayo de desnudamiento y volumetría y se evaluó el desempeño estructural de este tipo mantenimiento mediante el Simulador de Vehículos Pesados (HVS), en el cual se han obtenido excelentes resultados demostrando así que es una excelente medida temporal de reparación. Actualmente ya existe en Costa Rica experiencia en esta técnica la cual ha sido utilizada para la reparación de calles municipales con un excelente resultado.



Figura 5.15. Bache evaluado en el Simulador de Vehículos Pesados (HVS).

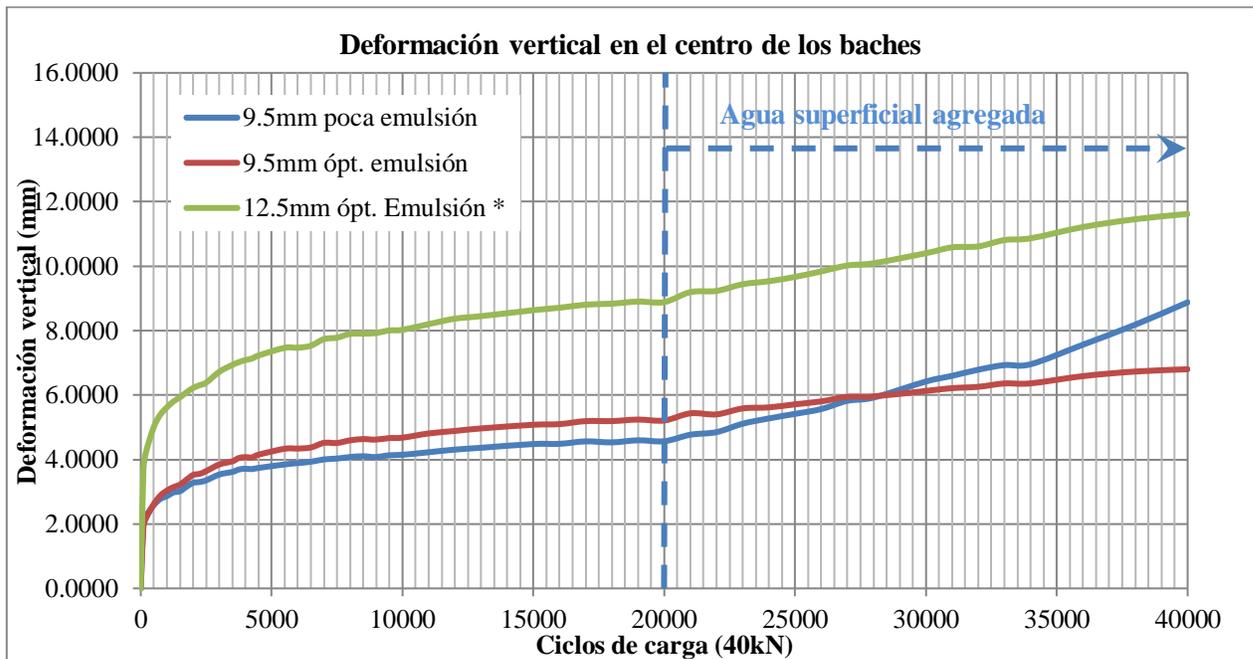


Figura 5.16. Resultados de deformación para los baches realizados en la pista experimental del HVS.



Figura 5.17. Especímenes elaborados con mezcla producida en laboratorio.

Durante la realización de este proyecto de investigación se han llegado a las siguientes importantes conclusiones.

Para que esta técnica funcione, al momento de aplicar la mezcla debe estar confinada por lo que a la hora de preparar la zona de bacheo se debería cortar los bordes irregulares y los que estén comprometidos. Aunado a esto es necesario utilizar un agregado limpio y con características de durabilidad y desempeño similares a los utilizados para la elaboración de mezcla asfáltica en caliente, con esto se logra asegurar la durabilidad máxima de este tipo de técnica.

A pesar de una exigencia superior de agregados, los bajos costos operativos hacen que esta técnica sea competitiva económicamente en comparación de otras técnicas de bacheo. Es necesario realizar una inspección de la calidad de la base, ya que de estar comprometida esta estructura los baches realizados se verán afectados en su desempeño.

6. GEOSINTÉTICOS

6.1. Línea de investigación en el uso de geosintéticos en pavimentos

Objetivo: Estudiar el desempeño mecánico asociado al uso de elementos geosintéticos en pavimentos flexibles, tanto en el refuerzo de capas granulares como de sobrecapa asfáltica.

Este proyecto inició en el año 2014, junto con la formalización de la línea de investigaciones en geosintéticos, que abarca tanto el refuerzo de capas granulares como de sobrecapa asfáltica. Para el caso de refuerzo de las capas granulares, vale la pena comentar que esta línea de investigación viene a dar continuación a proyectos de graduación iniciados en el 2003 y el 2011.



Figura 6.1. Línea de investigaciones en el uso de geosintéticos en pavimentos

Seguidamente se detallará el avance de cada sublínea de investigación asociada.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 62 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

6.2. Técnicas de colocación de geosintéticos para refuerzo de pavimentos

Objetivo: Estudiar el fenómeno del reflejo de grietas en la capa asfáltica de un pavimento rehabilitado con material geosintético

Para el caso de la sublínea de investigaciones en el uso de geosintéticos para el retraso del agrietamiento por reflejo de grietas, se completaron las investigaciones de la primera propuesta de investigación que consistía en el estudio de la mecánica desarrollada por el material geosintético mediante dos principales tareas: (1) ensayos de laboratorio (módulo dinámico, tensión diametral, tracción GRAB, Sobrecapas de Texas -Overlay Tester, OT- y viga a flexión) y de campo (deflectometría de impacto, inspección visual, georadar de penetración dinámica), de un tramo de prueba seleccionado donde se implementó la técnica y (2) modelos de simulación numérica utilizando la metodología del elemento finito.

Para el desarrollo de este proyecto, se diseñó e implementó una metodología de compactación con rodillo vibratorio manual, para la confección de vigas que posteriormente fueron falladas a flexión tal como se muestra en la figura.



(a) Rampa con placas



(b) Primera capa



(c) Riego del emulsión (60%)



(d) Colocación del geotextil



(e) Riego de emulsión (40%)



(f) Colocación de la segunda capa (sobrecapa)



(g) Colocación de la tercera capa (sobrecapa)

Figura 6.2. Metodología de confección de los especímenes

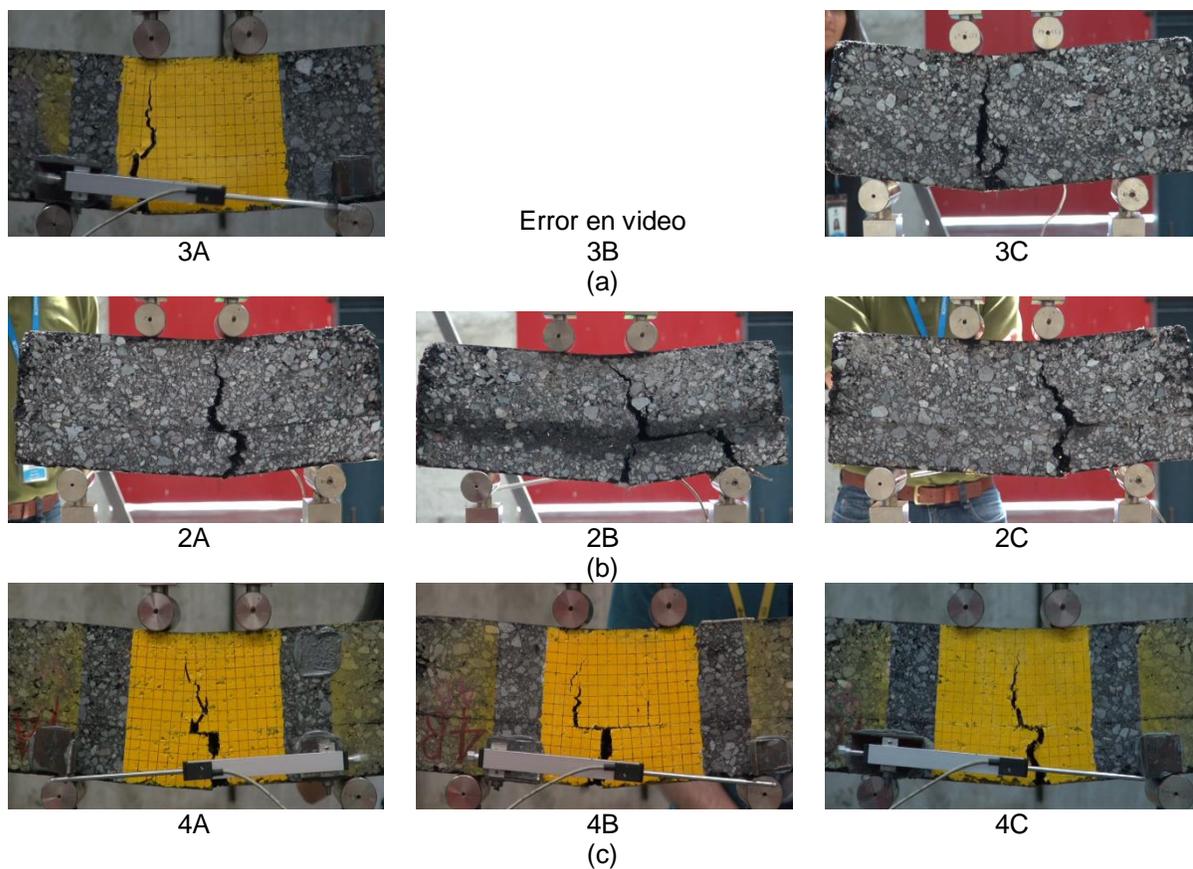


Figura 6.3. Especímenes fallados (a) sin geotextil, (b) y (c) con geotextil

Como resultado de la investigación, se logró determinar que efectivamente que los geotextiles trabajan como sistemas amortiguadores de esfuerzos, retardando el reflejo de la grieta a la nueva capa. Sin embargo, se hace necesario el estudio de otros materiales, otras condiciones y mejorar el ensayo de flexión implementado, como continuación a las investigaciones en el tema.

6.3. Comportamiento de geosintéticos en materiales granulares

Objetivo: Analizar experimentalmente el comportamiento mecánico del material geosintético utilizado como refuerzo en capas granulares.

Este proyecto nace dentro de la línea de investigación en geosintéticos, como una necesidad a la validación experimental de los resultados obtenidos en los dos estudios previos que se detallan en la figura.

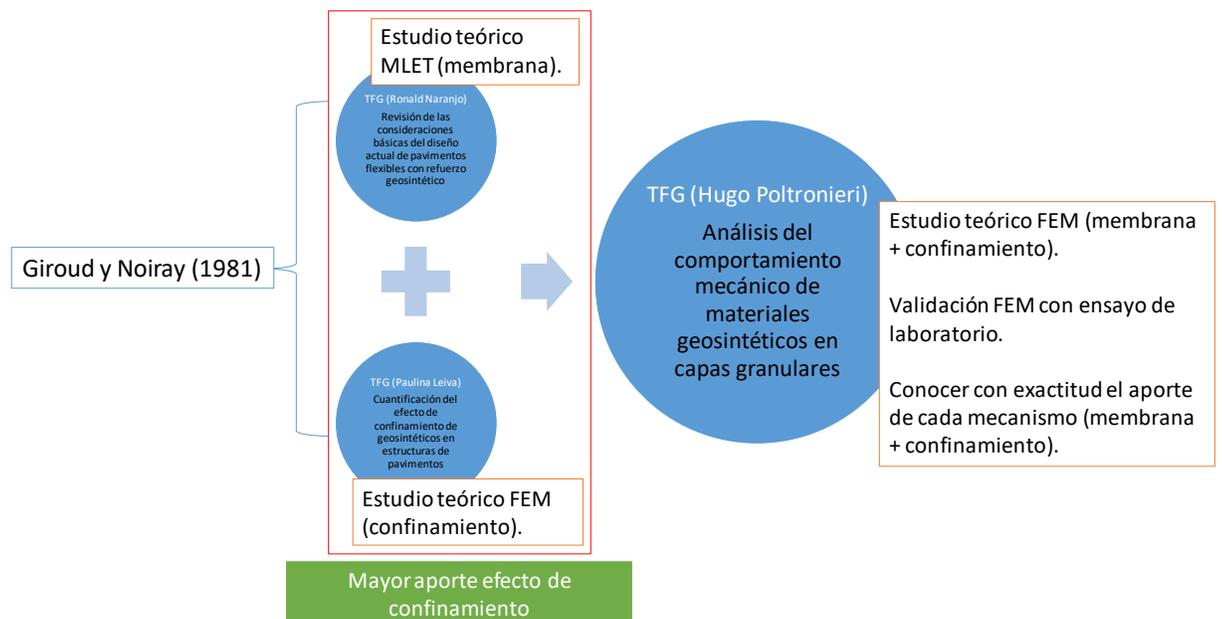
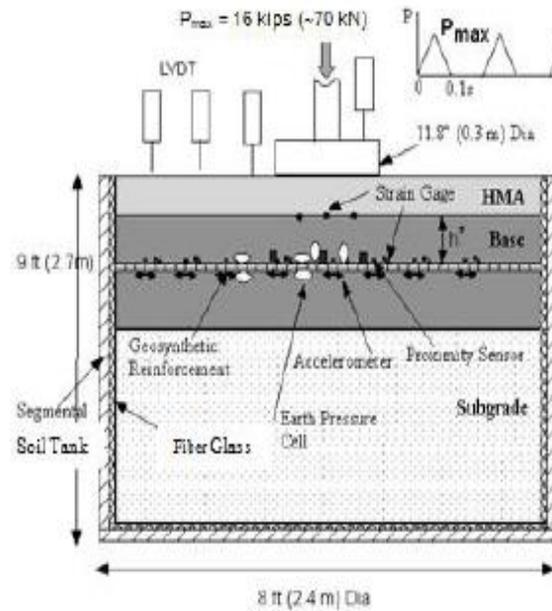


Figura 6.4. Esquema de definición del proyecto

El proyecto consiste en la implementación de un tanque para ensayo, similar a la configuración que se muestra en la siguiente figura.



(a)



(b)

Figura 6.5. Configuración del tanque de ensayo

Como el proyecto está iniciando, por el momento se está completando la propuesta de investigación, solicitando los materiales requeridos y coordinando el trabajo requerido con los técnicos del laboratorio.

7. PAVIMENTOS RÍGIDOS

7.1. I&D+i 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.

A la fecha se está trabajando en la propuesta de investigación para determinar el coeficiente de dilatación térmica y el alabeo por construcción del concreto, con el fin de determinar los valores de diseño que más se adapten a nuestros materiales.

A la vez se planteó una propuesta de investigación en conjunto con Hess Ingeniería y MATRA, dado que se va a construir un pavimento rígido en el nuevo plantel de MATRA en el Coyol de Alajuela. Se pretende instrumentar dicho pavimento para evaluar la respuesta del material en el tiempo.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 68 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

8. ENSAYOS A ESCALA NATURAL

8.1. 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 seis tramos iniciales, 001 al 006.

Durante el periodo en referencia se desarrolló el ensayo del tramo 007AC2H, en cual constituye el primer tramo ensayado bajo condiciones de humedad alta. Para esto se requirió el proceso de saturación de la fosa de ensayo.





Figura 8.1. Proceso de ensayo del tramo 007AC2H.

De manera similar se realizó el ensayo del tramo 008AC1H, ensayo que se desarrolló durante el segundo semestre de 2016.

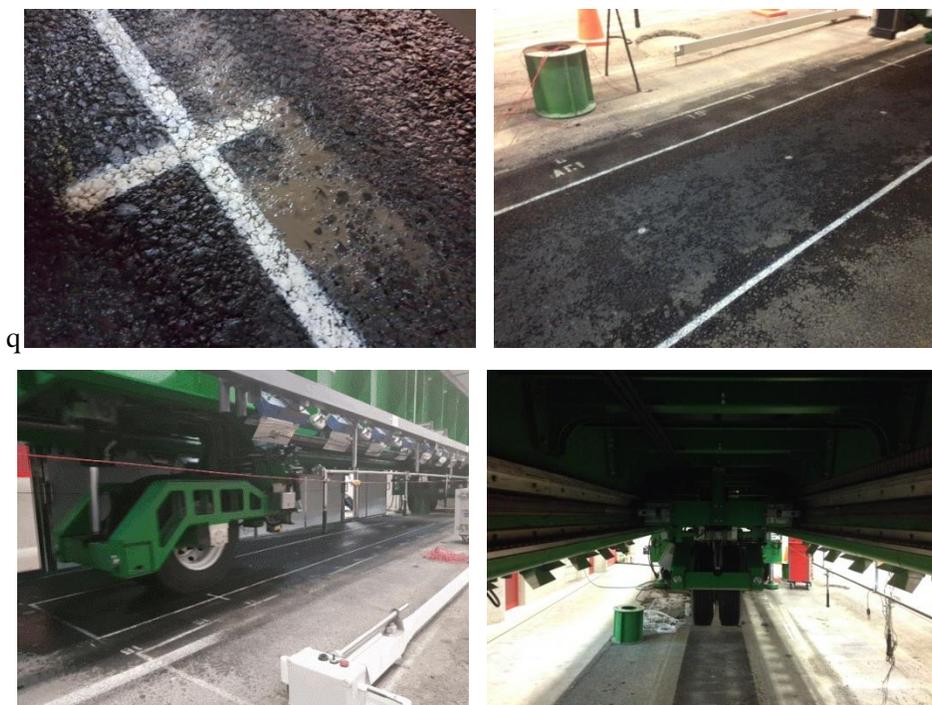


Figura 8.2. Proceso de ensayo del tramo 008AC1H.

Se inició el ensayo del tramo 009AC4H para el primer semestre de 2017, sin embargo, por un fallo en el sistema de adquisición de datos se detuvo el ensayo hasta contar con los componentes necesarios para hacerlo funcionar y poder recolectar la información generada por el ensayo.

A Mayo de 2017, se han alcanzado 5.9 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 60.1 millones de ejes equivalentes en los diferentes tramos de ensayo.

8.2. 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 8.3. Recolección de información en campo



De igual manera se continúa 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.

Se continúan los esfuerzos por fortalecer la base de datos programada donde se está almacenando la información que se genera.

Adicionalmente se ha instrumentado un tramo de pavimento en servicio, en el proyecto Cañas – Liberia, donde se colocaron 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.

Se realizaron mediciones durante el mes de Febrero y Abril del año 2017, con el propósito de documentar la condición inicial de la estructura. Además, se ha podido verificar la integridad de la instrumentación colocada y nuevas necesidades para mantener el equipo e instrumentación funcionando a largo plazo.

En las siguientes fotografías se pueden observar algunos de los procedimientos realizados para verificar el correcto funcionamiento del equipo en campo.



Figura 8.4. Sitio de medición y caja de acceso al cableado de la instrumentación.

Como parte del proceso de investigación y desarrollo, también se instaló instrumentación en la estructura de pavimento de uno de los puentes de abordaje en el Aeropuerto Internacional Juan

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 72 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Santamaría, 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. En las siguientes fotografías se puede observar algunas de las respuestas obtenidas con el ingreso de un Airbus 330-220, con un peso estimado de 170 toneladas a la llegada y 220 toneladas a la salida.

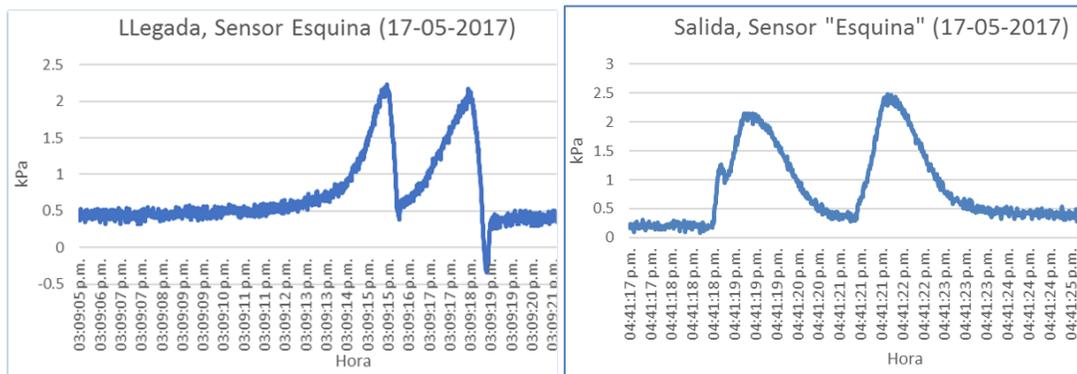


Figura 8.5. Lectura celda de presión en la esquina de la losa, llegada (izquierda) y salida (derecha) del Airbus 330-220.

9. MODELACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

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

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

Este proyecto viene gestándose desde el año 2010, con la definición de la línea de investigación en la generación de la Nueva Guía de Diseño de Pavimentos para Costa Rica, mediante la compra del Simulador de Vehículos Pesados (HVS, siglas en inglés); la construcción del edificio PAVELAB en el 2011; entre otras actividades.

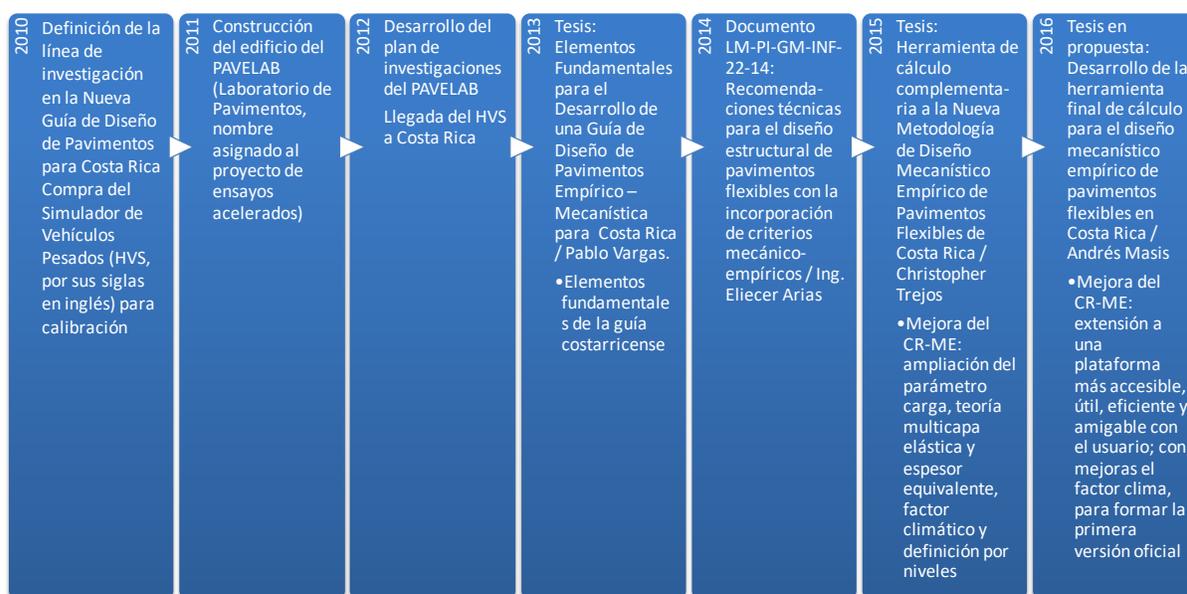


Figura 9.1. Proceso de definición de la Guía de Diseño Mecánico-empírica de Costa Rica

Parte del desarrollo de esta guía es la definición de una herramienta de cálculo complementaria que sirva de ayuda para el diseñador, sin eximirlo de utilizar su juicio ingenieril. Basado en eso se desarrolla una aplicación en Visual Basic para poder determinar el desempeño de los pavimentos flexibles con la metodología mecánico empírico.

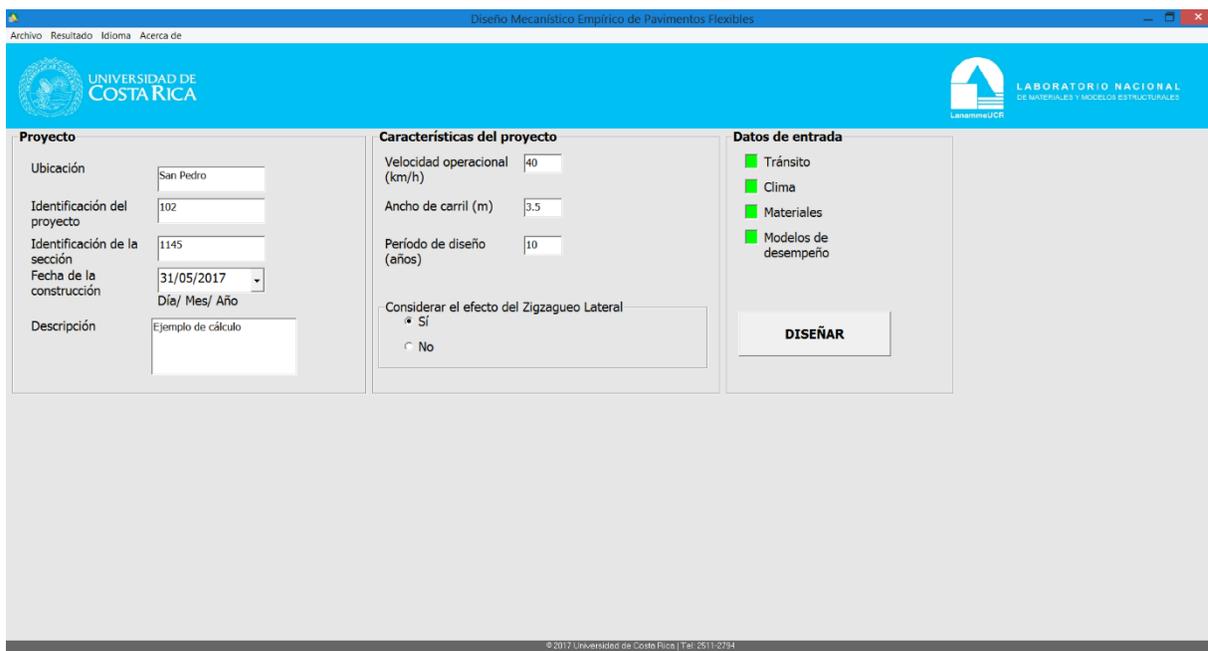


Figura 9.2. Interfaz gráfica de CR-ME versión Beta.

El programa permite al usuario diseñador del pavimento flexible, incluir los parámetros solicitados en cada uno de los módulos con los espesores que el ingeniero crea que son adecuados para soportar el tráfico al que estará sometido la estructura. Posteriormente, el programa calculará el desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil.

Las salidas del software son la deformación permanente estimada, el daño por fatiga de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, los cuales se correlacionan con el agrietamiento longitudinal y el porcentaje de área agrietada, respectivamente. También se muestran los módulos resilientes calculados mensualmente o en función de la carga, en caso de usar el modelo universal para caracterizar los materiales que componen las capas no ligadas.

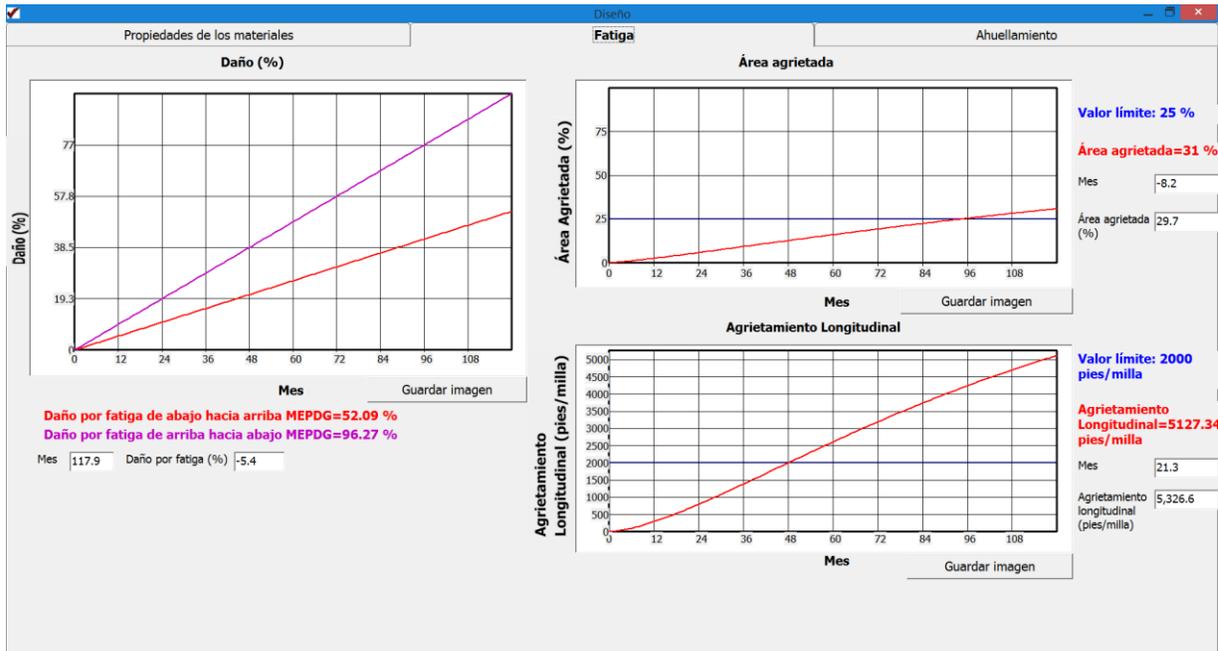


Figura 9.3. Salida software CR-ME versión Beta.

El software cuenta con el módulo de Tránsito, la cual es una de las variables más importantes en el diseño. El usuario podrá elegir entre utilizar espectros de carga o ejes equivalentes de carga para caracterizar esta variable.

La variable climática se toma en cuenta en el software por medio de la temperatura mensual y el índice de humedad de Thornwaite. Estas dos variables son utilizadas posteriormente para determinar el módulo resiliente mensual de cada capa no ligada y el módulo dinámico de la mezcla asfáltica.

Por otra parte, para la caracterización de los materiales, el software incluye un módulo que permite seleccionar un nivel de conocimiento de la variable. Para la carpeta asfáltica, se proponen modelos de red neural, el modelo de Witczak y la modificación al modelo realizado con investigación realizada en el LanammeUCR. Aunado a esto, se desarrolla una línea de investigación para mejorar estos modelos de predicción del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, recalibrándolos con nuevas metodologías y con una mayor cantidad de muestras. Para las demás capas del pavimento, se cuenta con modelos de cálculo del módulo en función del CBR o en función del esfuerzo al que está sometido el material. También se solicita al usuario información adicional del material como su índice de plasticidad o el

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 76 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



porcentaje pasando la malla #200, para poder aplicar modelos de afectación del módulo resiliente en función de las condiciones climáticas.

El software incluye los modelos de la guía estadounidense MEPDG, sin embargo, permite utilizar los modelos calibrados en el PaveLab del LanammeUCR para realizar el diseño del pavimento flexible.

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

Objetivo: Desarrollar una herramienta de cálculo que sirva de apoyo en el análisis estructural de pavimentos y el diseño de sobrecapas asfálticas.

Las labores de diseño en la ingeniería de pavimentos, no solo involucran la definición de las dimensiones y propiedades de una estructura nueva para cumplir con el desempeño requerido ante los deterioros más comunes que puedan presentarse, sino que también debe considerar una adecuada definición de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación requeridas para mantener la estructura en las condiciones ideales para que sea utilizada.

La construcción de sobrecapas asfálticas es una intervención de carácter estructural que, como tal, requiere de un diseño que contemple el análisis de las condiciones estructurales del pavimento, que se realiza mediante el retrocálculo de módulos.

Este software constituye la base para la sección en diseño de rehabilitaciones de la Guía Mecánico-Empírica de Diseño de Pavimentos, CR-ME.

Se logró completar una versión estable de la herramienta de retrocálculo y diseño de sobrecapas PITRA-BACK. Actualmente se encuentra en su versión beta 1.0.1 y se ha iniciado un periodo de pruebas públicas -pruebas beta-, ha sido distribuida de manera abierta y se ha recibido retroalimentación por parte de los usuarios.

Para realizar el retrocálculo se utilizó el algoritmo programado BOBYQA ("Bound Optimization BY Quadratic Approximation") de Powell; para minimizar el error cuadrático medio -RMS-. Se utilizaron los métodos de espesor equivalente y multicapa elástica, como modelos para determinar las respuestas

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 77 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

del pavimento. La herramienta permite considerar la no linealidad de la subrasante para el método de espesor equivalente. Para el método de multicapa elástica se utilizó el motor de soluciones del PITRA-PAVE

Además, se trabaja en mejoras tanto de elementos visuales como de funcionalidad de la herramienta. A continuación se presenta la interfaz que se ha distribuido públicamente.

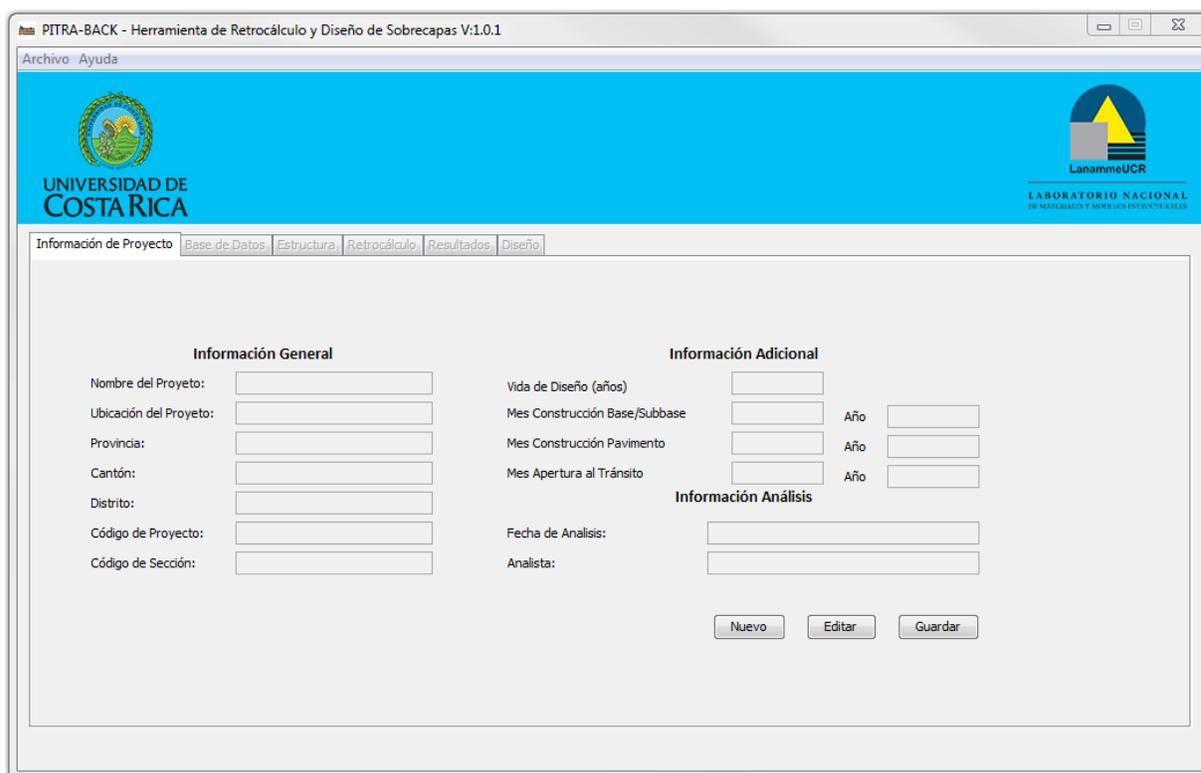


Figura 9.4. Interfaz PITRA-ME v1.0.1 para retrocálculo y diseño de sobrecapas

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

- Mejoras visuales (Resize, Colores UCR, Cambio de logos UCR y LanammeUCR)
- Manejo de secciones homogéneas.
- Gráficos de datos crudos, gráficos de módulo superficial por estación, gráficos de cuenco de deflexiones por estación.
- Compatibilidad de archivos MDB, F20, HWD y XML para deflectometría.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 78 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



- Posibilidad de guardar y cargar configuraciones de estructuras de pavimento de usuario.
- Programación de método de solución "radio de curvatura".
- Incorporación de herramienta para la creación e importación de bases de datos en otros formatos.
- Exportación de salidas en Excel y Word.
- Traducción e la herramientas al idioma Inglés.

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

Objetivo: Desarrollar una interfaz que permita la importación de bases de datos de diferentes formatos a F25.

Debido a la solicitud de los usuarios de la herramienta PITRA-BACK, se requiere de una herramienta para importar bases de datos obtenidas con equipos diversos. En la herramienta se ingresa manualmente la información del ensayo de FWD y se genera un archivo en formato f25 compatible con el PITRA-BACK.

Se está trabajando en la funcionalidad de la herramienta y se encuentra lista para pruebas internas - pruebas alfa- una vez se supere esta fase se anunciará públicamente para iniciar las pruebas beta. A continuación, se presenta la interfaz hasta el momento.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 79 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Figura 9.5. Interfaz DBtoF25.

9.4. Análisis de la influencia de la presión de inflado sobre las respuestas críticas en el desempeño de los pavimentos flexibles

Objetivo: Analizar la influencia de la presión de inflado de los neumáticos en el desempeño mecánico de pavimentos flexibles típicos costarricenses mediante la metodología del elemento finito.

Este estudio se enfoca en el estudio de la influencia del tipo de carga y su configuración (específicamente presión de inflado), en las simplificaciones tradicionalmente utilizadas para el análisis del desempeño mecánico de pavimentos. Para este objetivo se utilizan las propiedades mecánicas, la geometría y las respuestas obtenidas en PaveLAB del PITRA-LanammeUCR, para el desarrollo y la validación de modelos de elemento finito, que posteriormente son utilizados en el estudio paramétrico de valores propios de estas variables en la realidad costarricense.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 80 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Los resultados muestran que el efecto de la presión de inflado de los neumáticos sobre el módulo resiliente es despreciable. Por otro lado, a cargas altas-presiones bajas, la presión de contacto más alta se traslada a las franjas externas de la llanta, mientras que, ante las mismas cargas y presiones de contacto altas, la presión más alta se da en la franja central. En general, la presión de inflado solamente afecta el desempeño de la primera capa.

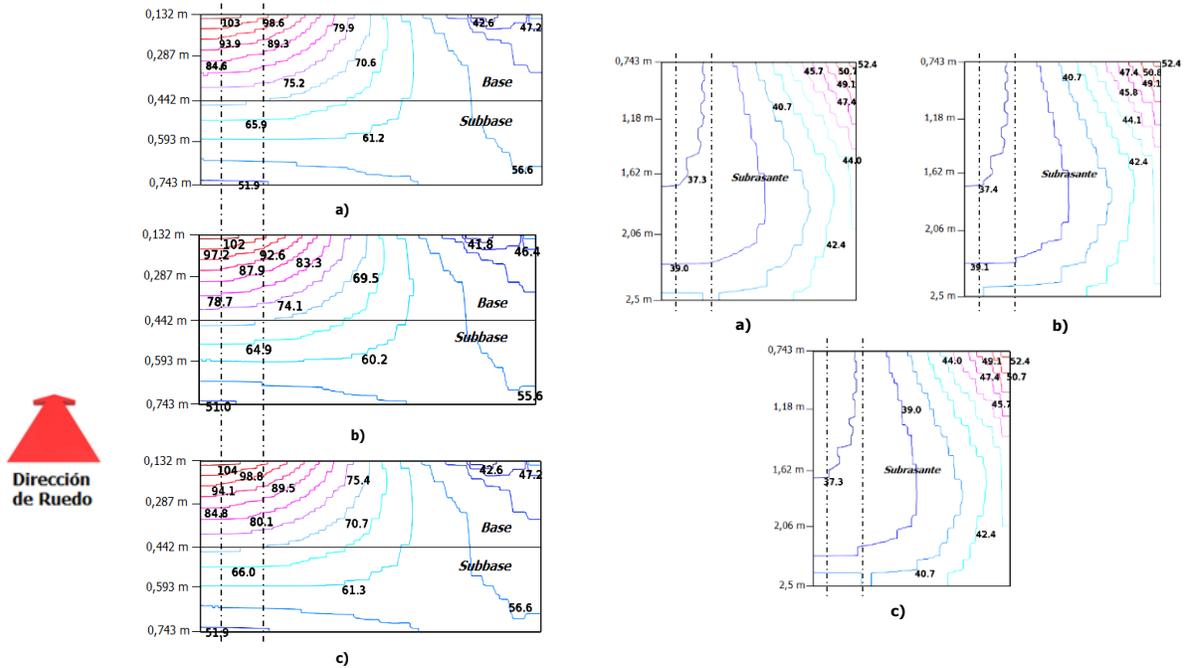


Figura 9.6. Distribución del módulo elástico en las capas de base y subbase, a) 80 psi, b) 100 psi y c) 115 psi

10. GESTIÓN

10.1. IRI en proyectos de rehabilitación

Objetivo: Evaluar la validez de las especificaciones del Índice de Regularidad Internacional en proyectos de rehabilitación de pavimentos flexibles en Costa Rica

El IRI (Índice de Regularidad Internacional) en la rehabilitación de pavimentos flexibles es un parámetro de verificación de la calidad, que se utiliza para la determinación del pago de labores constructivas de un proyecto.

Esta investigación se enfocó en el análisis de datos obtenidos de la evaluación del IRI en campo, de proyectos de rehabilitación mediante sobrecapas asfálticas, bajo los lineamientos del Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010) y carteles de licitación, donde se especifican porcentajes de mejora en el acabado superficial del pavimento para definir el porcentaje de pago correspondiente e inclusive el rechazo de la obra.

Los resultados mostraron que a pesar de que deben realizarse ajustes a las especificaciones actuales, estas son mínimas, lo que revela que se valida su uso para la entrada en vigencia en los próximos proyectos de rehabilitación en el país.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 82 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Tabla 10.1. Comparación de resultados del análisis estadístico mediante CR-2010 y el cartel de licitación para conservación vial, proyectos de sobrecapa asfáltica

Normativa	Requisitos		Proyectos Sobrecapa simple					
			Tárcoles - Turrubares	Colonia Puntarenas - Upala	Piedra Alta - San Isidro	Palmares - Atenas	Turrúcares - La Garita	San Isidro - Barú
CR-2010	> 50%		x	✓	x	x	x	x
	35% - 50%		✓	-	x	x	x	x
	25% - 35%		-	-	x	x	x	x
	15% - 25%		-	-	✓	✓	x	x
	< 15%		-	-	-	-	✓	✓
Cartel de licitación	$2,5 < IRI_{inicial} < 3,6$	10% mejora	N.A.	✓	✓	N.A.	x	x
	$3,6 < IRI_{inicial} < 6,4$	$IRI_{final} < 3,2$	x	✓	✓	x	x	✓
	$6,4 < IRI_{inicial}$	$IRI_{final} < 5$	✓	N.A.	N.A.	x	N.A.	N.A.
		50% de mejora	x	N.A.	N.A.	x	N.A.	N.A.



10.2. La influencia de la geometría en los valores de IRI

Objetivo: Analizar la influencia que tiene la geometría de las carreteras en los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI), específicamente secciones curvas y con alta pendiente de proyectos nuevos de la red vial nacional.

Existe un mito en el sector, de que la geometría de la carretera afecta los valores de IRI obtenidos en un proyecto vial. Considerando que Costa Rica es un país con una geografía montañosa, en el presente proyecto se está evaluando la posibilidad de que la geometría de la carretera (curvas y pendientes) influya en las evaluaciones del IRI, obligando a las empresas constructoras a realizar cambios en sus metodologías de trabajo, para lograr cumplir con las regulaciones necesarias para la aceptación de proyectos.

Para este objetivo, se procesaron los datos de 6 proyectos viales, extrayendo los valores de IRI de los tramos de 100 metros con influencia de curva o pendiente y se realizaron análisis comparativos considerando las clasificaciones por curva y pendiente del documento: "Policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials" de la AASHTO.

El proyecto aún se encuentra en la fase de procesamiento y análisis de datos, por lo que se espera que detalles relacionados puedan ser descritos en el informe de avance de proyectos del PITRA del próximo año.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 84 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

10.3. Incorporación de criterios ambientales, sociales y económicos en el desarrollo de un plan de inversiones a nivel de red para pavimentos flexibles de la Red Vial Nacional de Costa Rica

Objetivo: Desarrollar un plan de inversiones a nivel de red para pavimentos flexibles de la Red Vial Nacional que incorpore criterios de priorización relacionados con aspectos ambientales, sociales y económicos, de acuerdo con insumos disponibles en el país.

El Estado costarricense carece a la fecha de un Sistema de Administración de Carreteras que permita gestionar de forma óptima los pavimentos que conforman la Red Vial Nacional (RVN). Al carecer de una estrategia de largo plazo para la gestión de la RVN, el CONAVI se ha enfocado en una gestión reactiva (atender “lo malo primero”), lo cual trae como consecuencia la desatención de los activos que se encuentran en buen estado y solo requieren preservación.

Dada esta situación en el país, se desarrolla un plan de inversiones a largo plazo a nivel estratégico (20 años) para los 5269 km de pavimentos flexibles de la RVN. El proyecto consiste en evaluar distintas políticas de inversión para el mantenimiento de los pavimentos de la RVN, entre las cuales se valoran priorizar las inversiones según: el Índice de Competitividad Cantonal (ICC) de los distintos cantones, el Tránsito Promedio Diario (TPD), la pertenencia de la sección a la RVN estratégica, y la emisión de dióxido de carbono de las distintas intervenciones; con lo cual se busca comparar el impacto económico y ambiental que estas políticas de priorización representan en la evolución de la condición de la red vial.

Esta investigación se realizó mediante el uso del programa de computación “Woodstock” de Remsoft Inc., con el cual fue posible desarrollar varios escenarios de inversión utilizando técnicas de optimización lineal.

Gracias a los resultados obtenidos, se desarrolló un programa de inversiones a largo plazo para el mantenimiento de la RVN, en el cual se comparó la eficacia que representa invertir según los diversos criterios de priorización.

Igualmente, se comprobó el éxito que resulta de la implementación de un Sistema de Administración de Carreteras, ya que permite reducir la incertidumbre que las decisiones o políticas de inversión que se tomen en el presente generen sobre la condición de la RVN a largo plazo.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 85 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

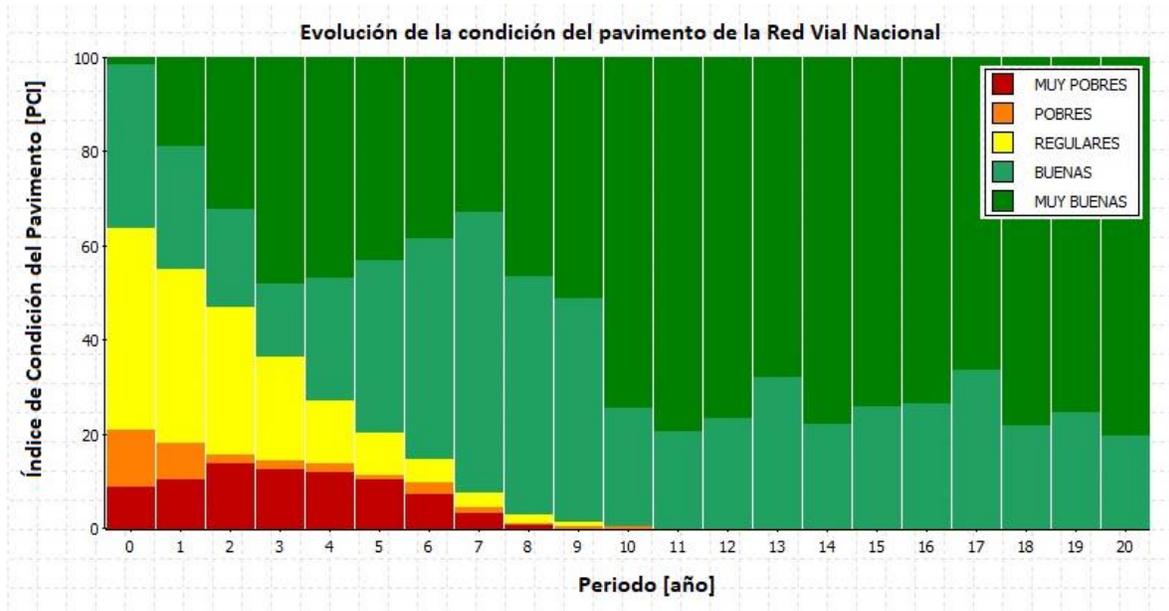


Figura 10.1. Evolución del PCI de la RVN para un determinado escenario de inversión

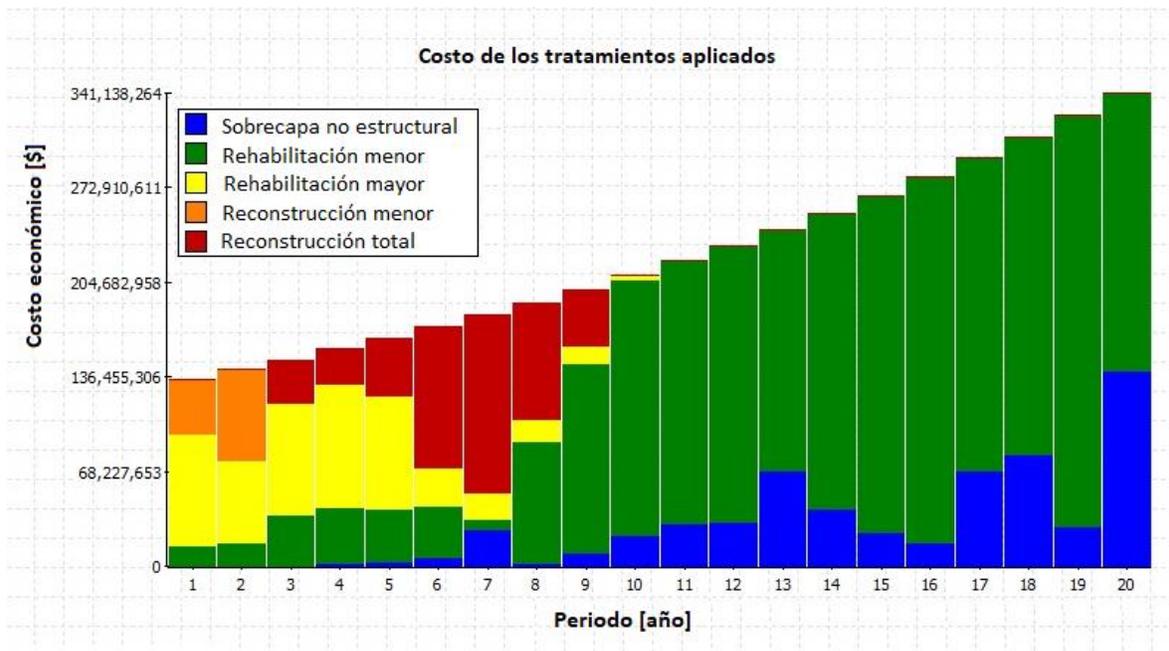


Figura 10.2. Costo económico de los tratamientos para cada año del periodo de análisis



11. SOSTENIBILIDAD

11.1. Línea de investigación en sostenibilidad de infraestructura vial

Objetivo: Promover la aplicación de la sostenibilidad en la infraestructura vial mediante un enfoque multicriterio (ambiental, económico y social), que garantice el uso eficiente de los recursos y asegure la conservación del ambiente.

El proyecto busca implementar el concepto de sostenibilidad en el desarrollo de obras de infraestructura vial. Para ello se propone analizar y evaluar tres líneas investigativas principales, las cuales corresponden a: estimación del ciclo de vida, LCA (del inglés Life Cycle Assessment), análisis del costo del ciclo de vida, LCCA (del inglés Life Cycle Cost Analysis) y sistemas de clasificación (huella de carbono, transferencia de riesgo, pasos de fauna, socialización, materiales reciclados, movilidad, generación de energía y cambio climático).

La metodología que se está utilizando para el desarrollo del proyecto, inició con la etapa de revisión bibliográfica en las tres líneas principales de investigación expuestas anteriormente. En este sentido, se profundizará en la línea de estimación del ciclo de vida, para la cual se está generando un artículo de revisión bibliográfica que tiene por objetivo dar un enfoque sobre las diferentes metodologías de análisis de ciclo de vida, comparando sus ventajas y desventajas. Además, conocer sus principales características y de esta manera, facilitar la toma de decisiones en la selección de la alternativa que mejor se adapte a las necesidades específicas de cada proyecto.

Como parte de la segunda etapa se busca establecer comunicación con las partes involucradas en el tema, como el caso de empresas e instituciones que contribuyan con bases de datos, para ser utilizadas como insumo en las mediciones y cálculos necesarios en el desarrollo del proyecto. Para ello, se ha iniciado la comunicación con la Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope), ya que cuenta con información referente a la etapa de obtención de materia prima, como resultado de la visita, se lograron recolectar los datos presentados en la tabla. A la vez se está coordinando visitas a diferentes empresas (principalmente plantas asfálticas), para obtener información que permita ir completando la base de datos del proyecto.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 87 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

Tabla 11.1. Datos recolectados Recope

Año	Volumen Facturado		Número de barcos	170 MT IFO 380/barco Consumo
	Barriles	m3		
2012	384,59	61,14	9	1530
2013	358,59	57,00	11	1870
2014	411,85	65,47	13	2210
2015	497,501	79,09	15	2550
2016	522,497	83,06	17	2890

Además, para conocer las necesidades del sector de transporte, las preocupaciones, experiencias y contar con un panorama que involucre cada sector (ambiental, económico y social), se ha generado una encuesta que será remitida a las principales entidades del país que tienen relación con el sector de transportes y vías.



Infraestructura Vial Sostenible

0% 100%

Indicadores Ambientales

* Seleccione la casilla según el nivel de importancia para la ENTIDAD en cada uno de los indicadores

	Bajo	Medio	Alto	NA
Adquisición y uso de suelo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tala de árboles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Consumo de energía	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Emisiones de ruido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contaminación de aire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contaminación de fuentes hídricas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Afectación hábitat de especies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Disposición de residuos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 11.1. Encuesta dirigida a principales entidades del país

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 88 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



12. INGENIERÍA DEL TRANSPORTE Y SEGURIDAD VIAL

12.1. Diagnóstico sobre movilidad ciclista

Objetivo: Desarrollar y aplicar metodologías para la evaluación de facilidades para ciclistas en el país mediante el análisis de casos de facilidades existentes para generar una guía técnica aplicable a futuras ciclovías, así como obtener criterios de diseño y desempeño de la infraestructura.

Una de las líneas de investigación de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte es la movilidad ciclista. El proyecto consistió en desarrollar y aplicar metodologías para la evaluación de facilidades para ciclistas en el país mediante el análisis de casos. La evaluación incluyó el análisis de movilidad ciclista en lugares que cuentan con demanda para ciclista, tanto para lugares con facilidades existentes como para los que no cuentan con las mismas. Se generó una guía técnica aplicable a futuras ciclovías, que incluyó una investigación de la bibliografía en materia de ciclovías para determinar las características de diseño de la infraestructura para el uso de bicicletas generando criterios de diseño y de desempeño de la infraestructura desde la perspectiva ciclista, incluyendo aspectos de seguridad vial. A través de diferentes estudios se caracterizaron a ciclistas actuales tanto en zonas urbanas como en zonas rurales. Los estudios incluyen una evaluación de las ciclovías existentes en los cantones de Cartago y Puntarenas. Se evaluó la movilidad ciclista en el sector de El Roble y Barranca en Puntarenas, en el campus de la Universidad de Costa Rica, así como en diferentes sectores al oeste de la ciudad de Cartago incluyendo localidades como Tejar, Tobosí, Guadalupe, entre otras.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 89 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Figura 12.1. Análisis de movilidad de ciclistas.

Además, se elaboró una Guía de diseño y evaluación de ciclovías para Costa Rica. Mediante el informe LM-PI-USVT-007-2016



Figura 12.2. Portada de la Guía de Diseño y Evaluación de Ciclovías para Costa Rica

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 90 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



12.2. 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 12.3. Demanda de transporte público.

Además, 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”. Los informes fueron remitidos a la Oficina de

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 91 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Servicios Generales de la Universidad de Costa Rica y al Consejo de Transporte Público, respectivamente.

12.3. 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.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 92 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

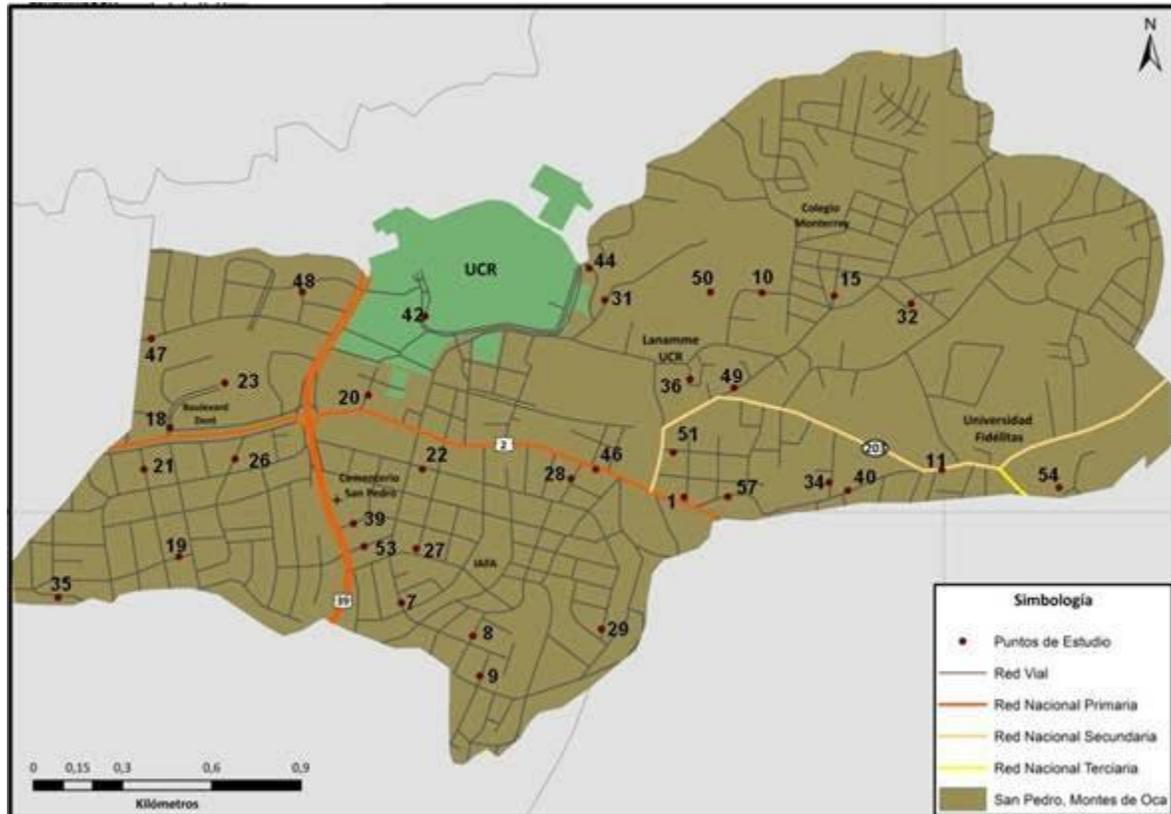


Figura 12.4. Ubicación de los puntos de estudio en el distrito San Pedro, cantón Montes de Oca.

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.

12.4. Guía de diseño para facilidades peatonales: caso de estudio en San Pedro de Montes de Oca

Objetivo: Elaborar una guía básica de diseño y de escogencia de facilidades peatonales, de acuerdo a las necesidades de los peatones, considerando condiciones del flujo vehicular e infraestructura vial presente.

Actualmente en Costa Rica, los entes gubernamentales han hechos esfuerzos para resguardar la seguridad y el bienestar de los peatones; no obstante, es necesario entender la importancia de conocer

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 93 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



su comportamiento, factores geométricos de la infraestructura vial, y características del flujo vehicular que transita en la ruta antes de hacer propuestas de nuevos diseños de cruce. La existencia de diseños eficientes que permitan separar las personas de los vehículos y faciliten cruzar las vías de manera segura es crucial para garantizar un ambiente que propicie seguridad para todos los usuarios.

Por otro lado, el diseño ineficiente puede fomentar que se haga caso omiso a la Ley de Tránsito y otras normas de seguridad. De acuerdo con lo anterior, se elaboró una guía básica de diseño para facilidades peatonales que considera tanto el comportamiento peatonal, señalamiento necesario y el volumen de vehículos y peatones, con el fin de que sea una herramienta de gran utilidad tanto para proyectos y vías existentes como cuando se realizan modificaciones o nuevos proyectos. En los siguientes cuadros se muestran algunos productos de la investigación, donde se muestra la clasificación de las zonas de estudio, según la velocidad y distancia de cruce, así como la facilidad de cruce que se recomienda para cada zona.

Tabla 12.1. Clasificación de zonas según distancia de cruce y velocidad

Distancia total del cruce	Trazado de la vía	Velocidad				
		< 50km/h	50km/h	60km/h	70km/h	≥ 80km/h
Un carril $\leq 3,5m$	Una vía	A	B	E		G
Dos carriles $\leq 7,0m$	Una vía					
		Doble vía				
Tres carriles $7,0m < x \leq 10,5m$	Una vía	C				
	Doble vía					
Cuatro carriles $10,5m < x \leq 14,0m$	Doble vía (2 carriles/vía)	C		F		
Seis carriles $10,5m < x \leq 21,0m$	Doble vía (3 carriles/vía)	No aplica	D			

Nota: Tomado del trabajo final de graduación "Guía de diseño para facilidades peatonales con un caso de estudio en el distrito de San Pedro de Montes de Oca" (Araya et al., 2015)



Tabla 12.2. Instalaciones de cruce peatonal recomendadas según la zona

Tipo de cruce	Instalación	Zona						
		A	B	C	D	E	F	G
Auxiliares de cruce	Reductor de velocidad	✓						
	Extensión de bordillo	✓	✓	✓				
	Medianera			✓				
	Isla o Refugio peatonal				✓			
Cruce a nivel	Plataforma peatonal	✓						
	Cruce a media cuadra	✓						
	Paso de cebra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Semáforo peatonal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Cruce a desnivel	Puente peatonal						✓	✓
	Túnel peatonal						✓	✓

Nota: Tomado del trabajo final de graduación "Guía de diseño para facilidades peatonales con un caso de estudio en el distrito de San Pedro de Montes de Oca" (Araya et al., 2015)

Los pasos a seguir en esta investigación es aplicar la guía a otros entornos urbanos, de modo que se valide la metodología; además, esta investigación se podría tomar de base para elaborar una guía para zonas rurales.

12.5. Desempeño de la demarcación vial horizontal en Costa Rica

Objetivo: Analizar el desempeño y durabilidad de diferentes sistemas de demarcación vial horizontal en diversas rutas nacionales bajo diferentes condiciones climáticas, estado de la superficie de rodamiento y volúmenes vehiculares, a partir de mediciones periódicas de retroreflectividad horizontal, contrastando los resultados con aquellos del simulador de vehículo pesado, o 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 mejorar los niveles de seguridad vial para todos los usuarios de la vía y disminuir el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito. Este proyecto de investigación forma parte del desarrollo de especificaciones

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 95 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------

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.

El objetivo general de esta investigación es analizar el desempeño y durabilidad de diferentes sistemas de demarcación vial horizontal en diversas rutas nacionales con diferentes condiciones (climáticas, estado de la superficie de rodamiento y volúmenes vehiculares), a partir de mediciones periódicas de retroreflectividad horizontal, que permita generar recomendaciones sobre el uso adecuado del material de demarcación vial, adaptado a las condiciones propias del país.



Figura 12.5. Medición de retroreflectividad en demarcación horizontal.

Como parte del proyecto, se realizó la evaluación del desempeño del material termoplástico y pintura base solvente utilizando el simulador de vehículo pesado, o HVS, en el PaveLab del PITRA-LanammeUCR. Con este experimento se busca evaluar el desempeño con el simulador para establecer correlaciones entre la retroreflectividad, el desgaste a lo largo del tiempo y el tránsito, mediante curvas de desgaste. Actualmente se está trabajando en el monitoreo de tramos de estudio en varias zonas climáticas del país, con flujos de tránsito diferentes.



12.6. Guía básica para un plan de contingencia vial. Caso: Colapso de las Alcantarillas de los ríos Ocloro y Quebrada Los Negritos sobre la Carretera de Circunvalación (Ruta 39)

Objetivo: Elaboración de una guía básica para un plan de contingencia vial en caso de interrupción parcial o total de una ruta importante de la Red Vial Nacional, tomando como ejemplo el caso del eventual colapso de las alcantarillas de los ríos Ocloro y la quebrada Los Negritos sobre la carretera de Circunvalación, Ruta 39.

El fallo o colapso de estructuras importantes de una red vial como lo son los puentes, taludes, alcantarillas o cualquier otro elemento puede afectar parcial o totalmente el funcionamiento del tránsito vehicular. A raíz de esto, se generan serios problemas de congestión y colapso del sistema vial, más aún cuando no se cuenta con vías alternas definidas para canalizar el flujo de vehículos que regularmente circulan por un punto en específico.

De acuerdo con lo anterior, en la investigación se diseñará una guía básica para un plan de contingencia vial en caso de que se presente un acontecimiento que interrumpa de forma parcial o total una ruta importante de la Red Vial Nacional, tomando como ejemplo el caso del eventual colapso de las alcantarillas de los ríos Ocloro y la quebrada Los Negritos sobre la carretera de Circunvalación, Ruta 39.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 97 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



UBICACIÓN EN BING ROAD

SITUACIÓN	RUTAS ALTERNAS, QUEBRADA LOS NEGRITOS		Simbología	
Provincia / Cantón / Distrito	Nombre	X (m)	Y (m)	<ul style="list-style-type: none"> — RA-1.1 — RA-1.2 — RA-2.1 — RA-2.2 — RA-2.3
San José / Montes de Oca / San Pedro	Quebrada Los Negritos	494051.592	1098782.35	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zona de trabajo ■ Barreras R-15-2 ■ IP-3-1,2 ◆ PP-7-14
San José / San José / Zapote	Coordenadas en sistema CRTM05			Karen Herrera A. Fecha: 11/04/2016

Figura 12.6. Rutas alternas y señalización para el cierre vial sobre quebrada Los Negritos
Nota: Tomado del trabajo final "Plan de Manejo de Tránsito: Intervención de las Alcantarillas de los ríos Ocloro y Quebrada Los Negritos sobre la Carretera de Circunvalación (Ruta 39)" (Herrera, 2016)

12.7. Análisis de movilidad peatonal entre las fincas de la sede Rodrigo Facio para mejorar su seguridad vial

Objetivo: Analizar la movilidad peatonal entre las fincas de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica para generar mejores condiciones de transitabilidad y seguridad vial.

Actualmente, la infraestructura peatonal en los alrededores de la Universidad de Costa Rica tiene dos grandes problemas: 1. que se encuentra en un estado deficiente, lo cual dificulta el tránsito de los peatones, 2. que ha aumentado la demanda de viajes por el traslado de las facultades de Ciencias Sociales e Ingeniería Eléctrica a la Ciudad de la Investigación (Finca 2).

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 98 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



Además, se han encontrado proyectos de préstamo de bicicletas como “Bicis FEUCR” que promueven el uso de bicicletas para la movilidad activa de estudiantes entre fincas, sin tener algún plan de mejora de infraestructura que mejore la seguridad de los ciclistas durante sus viajes entre fincas.

Esta investigación se ve como una oportunidad para mejorar la infraestructura actual de peatones y ciclistas para que estos usuarios transiten de manera segura y agradable. Se busca una mejora del espacio de tránsito de manera que sea integral, es decir, un lugar donde puedan coexistir los peatones, los ciclistas y conductores. De esta manera, se busca fomentar la movilidad activa la cual contribuye a mejorar la salud de la comunidad universitaria, y a la descongestión del transporte de la Universidad de Costa Rica lo que disminuiría la contaminación del aire.

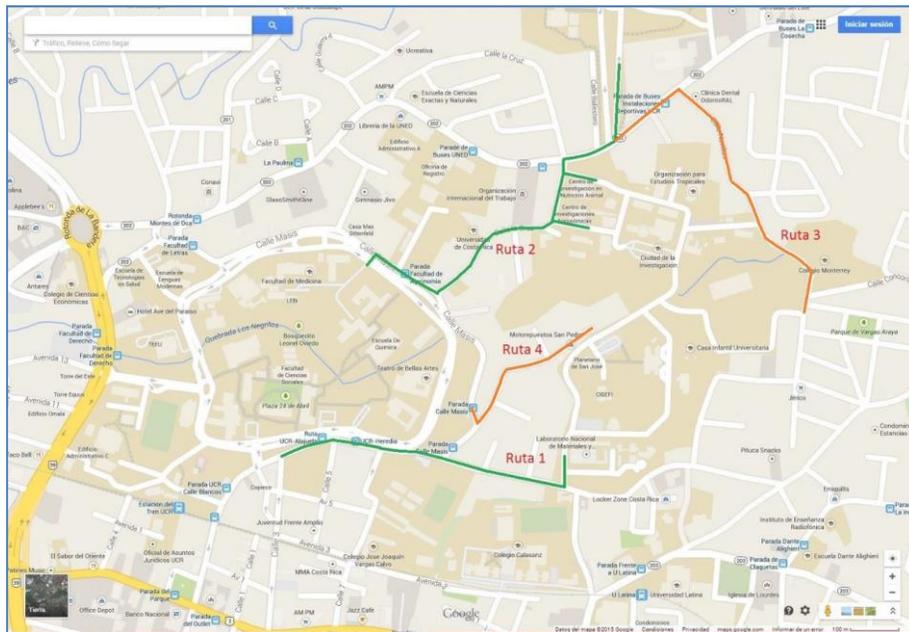


Figura 12.7. Delimitación de rutas peatonales entre fincas de la Sede Rodrigo Facio

Nota: Tomada del TFG "Análisis de movilidad entre las fincas de la Sede Rodrigo Facio para mejorar la seguridad vial de peatones y ciclistas" (Stradi, et. al, 2015)

Los resultados fueron considerados por la Oficina de Servicios Generales de la UCR para implementar algunas de las recomendaciones.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 99 de 117
----------------------------	------------------------------	------------------



12.8. Costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012

Objetivo: Determinar el costo económico de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el año 2012.

Los costos incurridos en los accidentes de tránsito son generalmente subvalorados en Costa Rica. De hecho, existen pocos estudios en el país que logran cuantificar los costos incurridos, estas investigaciones poseen pocos alcances y grandes limitaciones debido a la poca convergencia y facilidad de recopilar la información de las diferentes instituciones involucradas. Históricamente en Costa Rica, los accidentes de tránsito representan una de las principales causas de muerte violentas, afectando directamente la producción nacional debido a que la mayor cantidad de las muertes que ocurren son en la etapa laboral de los individuos. Con esta investigación se logró determinar que el costo económico de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012, fue de 398 127 millones de colones, lo que representa el 1,73% del PIB para el año en estudio.

Tabla 12.3. Costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012

Costos Directos		Costos Indirectos	
Daños Materiales	61 000 millones	CH Hombres	280 647 millones
CCSS – INS	30 719 millones	CH Mujeres	25 062 millones
Cruz Roja Costarricense	699 millones		
TOTAL	92 418 millones	TOTAL	305 709 millones
TOTAL COSTO ACCIDENTES DE TRÁNSITO 2012		398 127 millones	

Nota: Tomada del trabajo final de graduación "Costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica durante el 2012" (Segreda et al., 2015)

Lo que se espera es que se internalicen estos costos y que se consideren en las evaluaciones socioeconómicas de los proyectos de transporte los beneficios de la seguridad vial.



12.9. Utilización del vehículo compartido para viajar a la sede Rodrigo Facio en la Universidad de Costa Rica

Objetivo: Implementar un plan piloto en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica de un sistema de vehículo compartido, con el fin de mejorar las condiciones de movilidad en el campus.

La Oficina de Servicios Generales de la Universidad de Costa Rica está implementando el Proyecto de Movilidad Activa, con el fin de mejorar la movilidad en la Sede Rodrigo Facio. Una de las medidas que se desea implementar es el proyecto "Carro Compartido UCR", para lo cual se implementó un plan piloto entre agosto y octubre del 2015. Durante los 14 días de duración del plan piloto, se realizaron 170 viajes en carro compartido, con una participación de 579 personas.

Los resultados del plan piloto se presentaron a la Vicerrectoría de Administración en noviembre 2015, fecha en que se tomó la decisión por parte de la VRA de seguir con el programa en forma permanente, para lo cual la Oficina de Servicios Generales, está valorando los recursos necesarios para implementar el plan a partir del segundo semestre 2016.

En este proyecto la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR ha venido apoyando a la OSG, junto con estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR.



Figura 12.8. Participantes en el proyecto piloto Carro Compartido UCR

Nota: Fotografías tomadas por los estudiantes que estuvieron a cargo del plan piloto, octubre 2015.

La OSG ha informado que se está trabajando en la implementación del proyecto.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 101 de 117
----------------------------	------------------------------	-------------------



12.10. 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 12.9. Sistema de contención colocado en la Florencio del Castillo
Nota: Fotografía tomada en mayo 2016



12.11. 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 12.10. Equipo para la medición de la iluminancia.



Figura 12.11. Equipo para la medición de la luminancia.

El proyecto de investigación busca ser un insumo muy importante para establecer parámetros de iluminación que procuren evitar que estas sean perjudiciales para la visibilidad del conductor y lleguen a constituir un peligro potencial para los usuarios.



12.12 Modelo de demanda de transporte urbano de la GAM en plataforma TransCAD

Objetivo: Migrar el modelo de demanda desarrollado en PRUGAM del sistema Emme2 a la plataforma TransCAD.

El proyecto de investigación busca establecer el modelo de demanda de transporte urbano de la Gran Área Metropolitana en la plataforma adquirida por Lanamme-UCR: TransCAD. Se espera que, al desarrollar el modelo dentro de un ámbito académico universitario, el mantenimiento, depuración y actualización de las bases de datos se incluya dentro de las labores básicas del proyecto.

El proyecto inició en julio del 2016 y tiene un plazo de dos años. Los objetivos específicos por cumplir en este plazo son los siguientes:

1. Estructurar una plataforma de análisis del transporte urbano de la GAM usando el sistema TransCAD, previamente adquirido por el Lanamme.
2. Calibrar dicha plataforma para las condiciones existentes de la GAM.
3. Capacitar al personal del Lanamme en aspectos de modelación de demanda de transporte urbano.
4. Aplicar la herramienta de modelación para el análisis de proyectos concretos en Costa Rica.
5. Fortalecer la formación de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica en el uso de modelos complejos de demanda de transporte.

Las bases de datos de generación de viajes, obtenidas a partir de la encuesta de hogares realizada en el PRUGAM se encuentran actualmente incorporadas a la plataforma TransCAD, así como las variables relacionadas con el modelo de cuatro etapas, tales como los factores de impedancia, las curvas de selección modal y las ecuaciones de demora utilizadas en el proceso de asignación de viajes.

La red de carreteras se encuentra completamente migrada al software TransCAD y la actualización de la misma se encuentra en proceso. Esta red corresponde a la red de carreteras del 2006, por lo que se debe actualizar la Ruta 27 y algunos ordenamientos viales que se han dado en los centros urbanos de San José, Alajuela, Cartago y Heredia. Esta red de carreteras contiene información de velocidad de operación de las rutas, cantidad de carriles y capacidad de las vías.

Adicionalmente, se incorporó la red de transporte público, con los trazados e información básica requerida para modelación (tarifa, velocidad y frecuencia). Se incluyeron todas las rutas de bus urbanas

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 105 de 117
----------------------------	------------------------------	-------------------



e interurbanas que operan dentro de la GAM y se actualizó con las rutas de tren que operan actualmente. En la figura se muestran las redes actualizadas a la fecha de mayo de 2017.

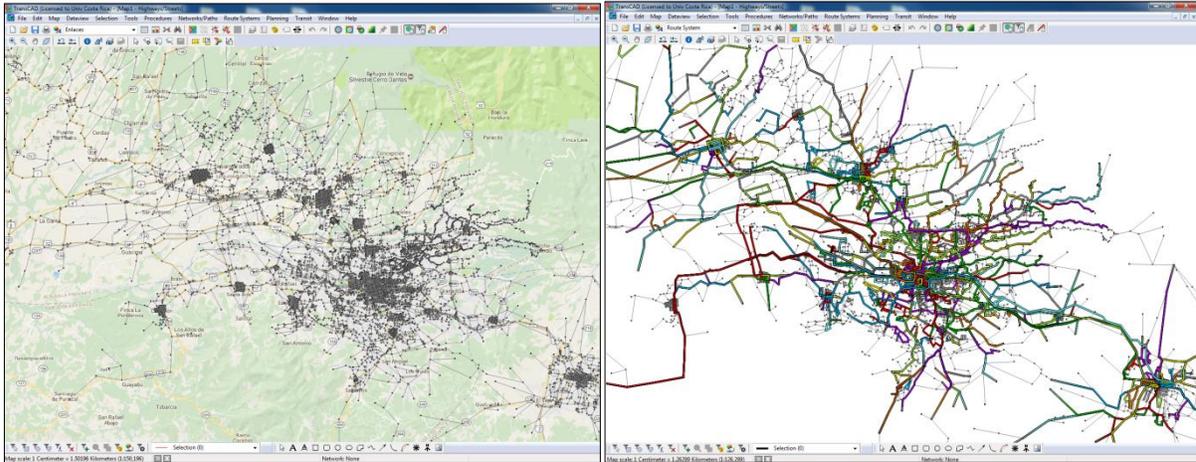


Figura 12.12. Red de carreteras y de rutas de transporte público incorporadas a software TransCAD

Actualmente, se está trabajando en el proceso de calibración de las asignaciones de viajes en vehículo privado y de viajes en transporte público.

Este proyecto servirá como insumo para la capacitación de personal en el uso de la herramienta, prevista para inicios de 2018. Actualmente se tienen versiones preliminares de dos futuras publicaciones, las cuales serán utilizadas en los cursos de capacitación:

- Modelación de demanda del transporte urbano: Fundamentos teóricos (*Borrador*)
- Modelación de demanda del transporte urbano: Aplicación práctica (*Borrador*)



12.13 Análisis descriptivo de patrones de velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo del tránsito de Costa Rica

Objetivos. Sintetizar el conocimiento existente sobre la velocidad a partir de la creación de patrones de velocidad para las estaciones de control analizadas de forma que estos datos puedan ser utilizados por la Administración en temas como la seguridad vial, el diseño de pavimentos y otras aplicaciones de la ingeniería de carreteras.

Plantear un punto de partida, en el estudio de las estaciones tomadas en cuenta para este informe, con el fin de iniciar un seguimiento al comportamiento de la velocidad (para las diferentes clasificaciones de vehículos, factores temporales, factores ambientales y factores de la vía) en el país, que podría cambiar por efecto de cambios en los controles, políticas públicas y condiciones de la vía.

Con el objetivo de obtener los patrones de velocidad en los diferentes corredores viales de Costa Rica, se analizaron los datos de 13 estaciones permanentes de conteo vehicular, distribuidas alrededor del país en diferentes puntos de la Red Vial Nacional. Las estaciones en estudio son las siguientes: Búfalo, Cambronero, Cañas, Desmonte, Guápil, Juan Viñas, Liberia, Matapalo, Muelle, Paso Canoas, Río Chiquito, San Juanillo y Tempisque.

Para cada estación se obtuvo la distribución de velocidades para un período mayor a una semana (con excepción de la estación de Matapalo donde se trabajó con datos de seis días). Mediante los valores de velocidades se obtuvo la distribución general de la estación y la distribución acumulada; estas distribuciones fueron comparadas con la velocidad provista por el MOPT según la sección de control que fue tomada como referencia.

Los datos de velocidad fueron clasificados según la cantidad de ejes de los vehículos (dos, tres, cuatro, cinco o más ejes), se analizó la distribución de cada tipo y las características específicas para cada estación. En todas las estaciones los vehículos de dos ejes corresponden al mayor porcentaje de vehículos, por lo tanto, se clasificaron según lo recomendado por AASHTO en cinco categorías (motocicleta, automóvil, pick up, camión de dos ejes y autobús). Para cada clasificación se obtuvo la distribución de velocidades y fueron comparados con la velocidad tomada como referencia.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 107 de 117
----------------------------	------------------------------	-------------------

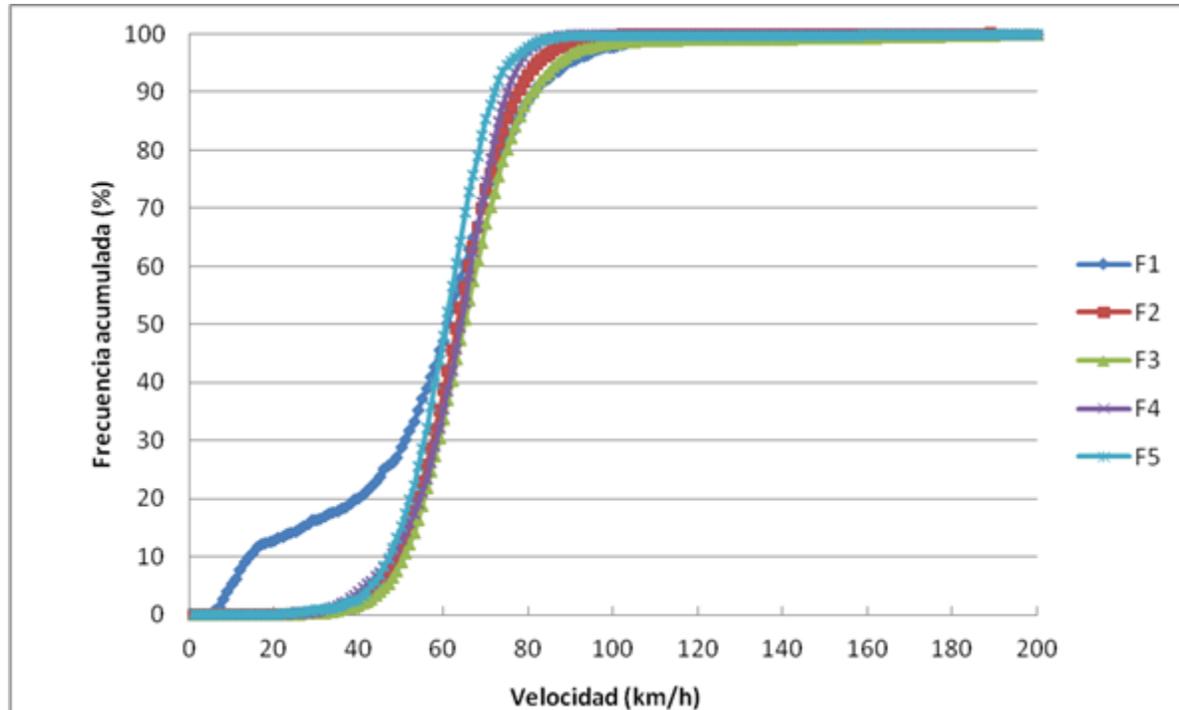


Figura 12.13. Distribución de velocidades para vehículos de dos ejes en la estación de Cambronero
Fuente: Informe LM-PI-USVT-002-16

Posteriormente se separaron los datos de velocidades según día de la semana y hora del día para cada estación. De esta forma, se obtuvo el día de mayor y menor velocidad, así como también la hora de mayor y menor velocidad. Además, se obtuvo la distribución de velocidades según la hora del día para todas las estaciones. Finalmente se compararon los resultados de todas las estaciones y se establecieron comportamientos patrones.

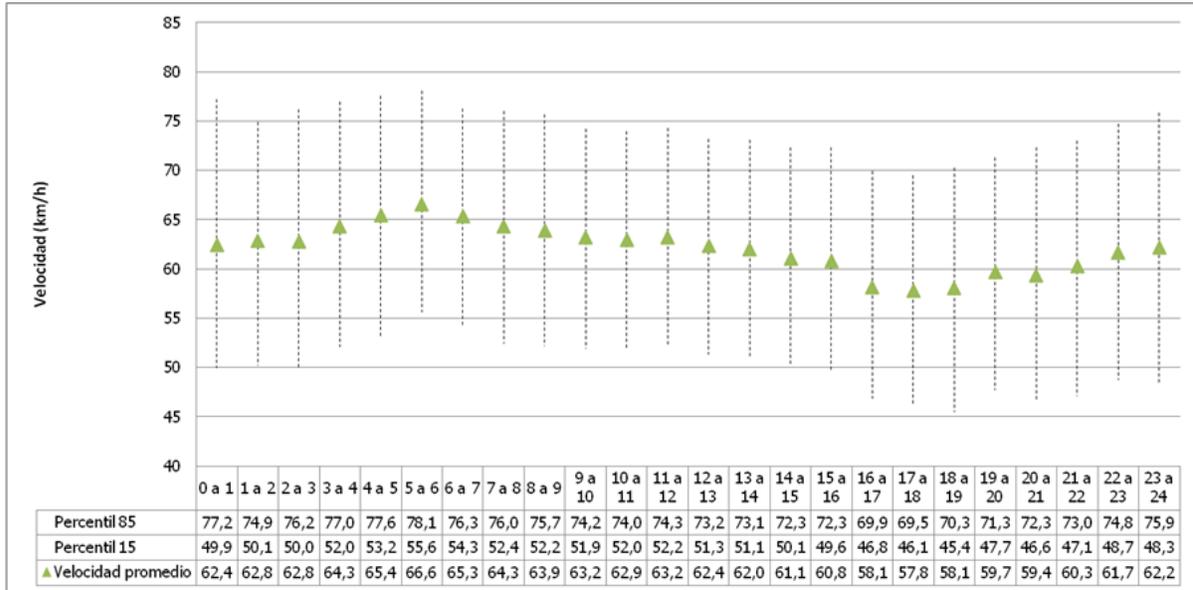


Figura 12.14. Velocidad por hora del día para la estación de Cambronero
Fuente: Informe LM-PI-USVT-002-16

Finalmente, se emitió el informe LM-PI-USVT-002-16 “Análisis descriptivo de patrones de velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo del tránsito de Costa Rica”.

12.14 Monitoreo Movilidad Activa UCR

Objetivo: Determinar el volumen de tránsito vehicular, de bicicletas y de peatones en dos puntos específicos de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica con el fin de hacer un monitoreo del tráfico en estos puntos específicos.

Con el objetivo de obtener los volúmenes de tránsito de vehículos, ciclistas y peatones en la Finca 1, de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, se analizaron 2 puntos en el anillo interno del campus a lo largo de la “milla verde”, los contadores se colocaron frente al Centro de Informática y frente al estacionamiento de la Facultad de Educación.



Para cada punto se obtuvo la cantidad de vehículos, ciclistas y peatones, durante un periodo de dos semanas. El resumen de resultados se observa para de cada tipo de usuario, en la tabla. Además, se logró identificar comportamientos típicos por tipo de usuario en los días entre semana, sábados y domingos.

Tabla 12.4. Resumen de datos obtenidos por tipo de usuario en cada punto analizado

			Promedio/ hora	Máximo/ hora	Promedio/ día
Punto 1. Frente Centro Informática (Anillo Interno)	Peatones milla verde	Entre semana	261	563	6264
		Sábado	117	463	2808
		Domingo	74	252	1777
	Peatones acera	Entre semana	234	719	5616
		Sábado	40	175	967
		Domingo	9	34	226
	Bicicletas	Entre semana	35	111	838
		Sábado	15	77	348
		Domingo	3	16	76
	Automóviles	Entre semana	71	204	1474
		Sábado	32	208	637
		Domingo	1	3	16
Punto 2 Facultad Educación (Anillo Interno)	Peatones	Entre semana	281	654	6744
		Sábado	91	344	2175
		Domingo	79	279	1892
	Bicicletas	Entre semana	4	11	93
		Sábado	2	10	55
		Domingo	6	26	133
	Automóviles	Entre semana	42	101	998
		Sábado	16	74	382
		Domingo	3	12	68

Los datos de volúmenes se clasificaron para cada población estudiada, de tal forma que se pudiera apreciar el comportamiento que se presentaba diariamente, donde se obtuvo que los días entre semana los tres usuarios tienen un comportamiento similar, presentando el máximo volumen durante las

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 110 de 117
----------------------------	------------------------------	-------------------

primeras horas del día (7:00 a.m. – 9:00 a.m.) y luego un segundo pico terminando la tarde (4:00 p.m. – 6:00 p.m.)

Además, a partir de los valores que se obtiene para los domingos es posible tener una idea de la cantidad de personas que visitan el campus universitario con el fin realizar ejercicio o simplemente una actividad recreativa.

El informe LM-PI-USVT-004-2016 “Monitoreo Movilidad Activa UCR” fue enviado a la Oficina de Servicios Generales de la Universidad de Costa Rica incluyendo datos de velocidades en los puntos estudiados.

12.15 Inventario Elementos Seguridad Vial: Evaluación de la factibilidad del uso de equipo de auscultación visual de carreteras (Geo-3D) para elaboración de inventario de seguridad vial de las principales vías de Costa Rica

Objetivo: Generar una propuesta para realizar un inventario de carreteras y caminos, desde la perspectiva de la seguridad vial, a partir de una evaluación de campo, sobre las características físicas y geométricas más representativas de los tramos de carreteras seleccionados de la Red Vial Nacional Primaria de Costa Rica mediante el uso del equipo de auscultación visual de carreteras (Geo-3D).

En Costa Rica, el desplazamiento por carretera es el medio por excelencia de pasajeros y mercancías. La ausencia de la atención suficiente a planes de intervención de los diferentes elementos de la carretera con el fin de mejorar la seguridad vial, ha provocado elevados costes económicos, sociales y considerables pérdidas humanas, particularmente la de los usuarios más vulnerables.

Ante esta situación, se propone la realización de un inventario de carreteras y caminos, a partir de una evaluación de campo, en la que se consideren las características físicas y geométricas más representativas de los tramos seleccionados; mediante el uso del equipo de auscultación visual de carreteras (Geo-3D). Este equipo de alta tecnología, cuenta con seis cámaras de alta resolución que permiten hacer el reconocimiento de un proyecto de una manera más rápida y eficiente, recorriendo la carretera en tiempo real.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 111 de 117
----------------------------	------------------------------	-------------------



El proyecto se encontrará dividido en varias fases. En la primera fase, se pretende realizó una recopilación bibliográfica de la información existente relacionado con inventarios de elementos de seguridad vial y con la generación de los metadatos para el inventario. La segunda fase, tiene por fundamento la selección de tramos de rutas nacionales primarias con el fin de cubrir secciones con diferentes características operativas. Estas rutas fueron analizadas por secciones de control que consideraran las características más representativas de cada una de ellas. Para la tercera fase, se obtuvieron los datos en el campo, mediante el uso del equipo, para finalmente alimentar la base de datos.

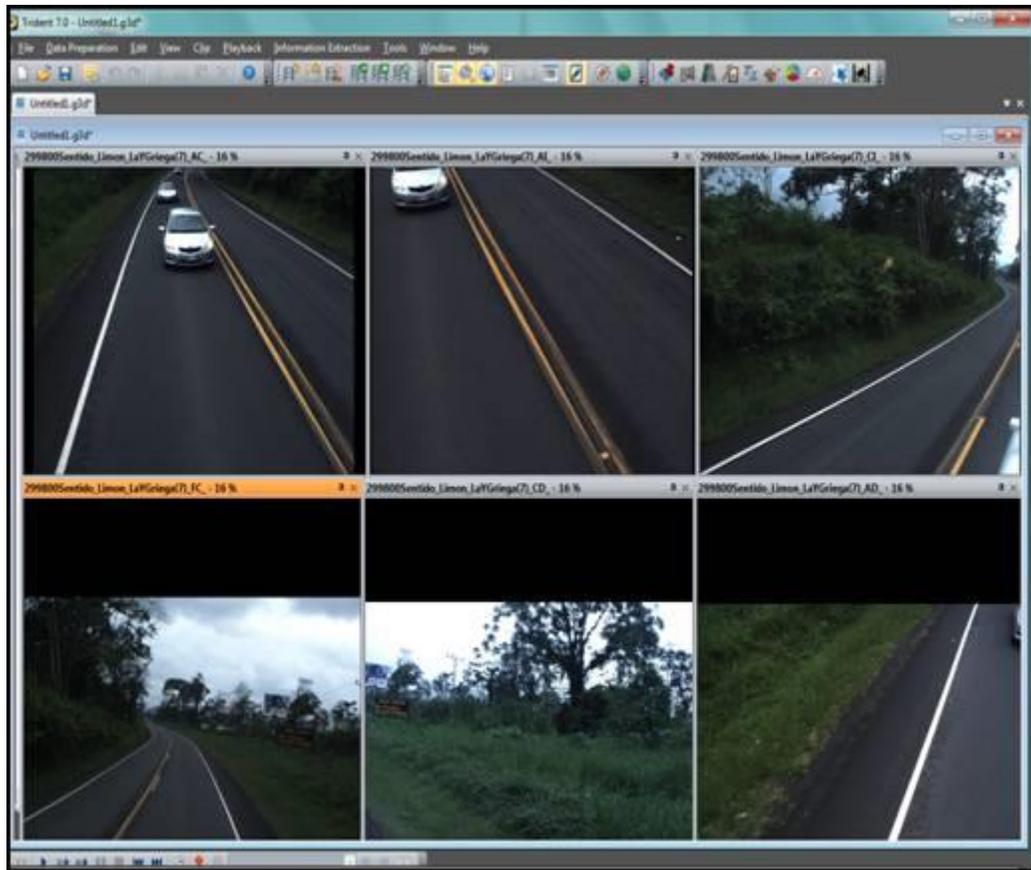


Figura 12.15. Detalle de las imágenes recopiladas por el Geo 3D
Fuente: Informe LM-PI-USVT-005-16



El objetivo del presente estudio es diseñar una base de datos para el inventario de elementos de seguridad vial, para posteriormente aplicarla a una muestra de tramos seleccionados de la Red Vial Nacional. Una vez diseñada la base de datos, ésta se incorpora dentro del sistema de auscultación visual de carreteras (Geo-3D) para realizar el inventario respectivo, que incluye las características físicas y geométricas más representativas, desde la perspectiva de la seguridad vial, de los tramos de carreteras seleccionados. Además, mediante la implementación de Geo-3D se pretende evaluar otras condiciones del pavimento, taludes, espaldones, señalización horizontal y vertical. La base de datos contiene aproximadamente 200 elementos que pueden ser recopilados clasificados en 13 diferentes atributos principales. A continuación, se muestran los contenidos a evaluar:

1. Localización del Segmento
2. Sección transversal del segmento
3. Costado de la vía
4. Otros elementos descriptivos
5. Operaciones de tráfico
6. Puentes
7. Curvas horizontales
8. Pendientes verticales
9. Intersecciones
10. Acceso de la intersección
11. Acceso de la rotonda
12. Intercambios y rampas
13. Rampas

El resultado del plan piloto se encuentra en el informe LM-PI-USVT-005-2016 “Evaluación de la factibilidad del uso de equipo de auscultación visual de carreteras (Geo-3D) para elaboración de inventario de seguridad vial de las principales vías de Costa Rica”.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 113 de 117
----------------------------	------------------------------	-------------------

13. VULNERABILIDAD

13.1. Estudio de presencia de drenaje ácido de rocas (DAR) en taludes de la Ruta Nacional 27

Objetivo: Estudio de presencia de drenaje ácido de rocas en la unidad litológica ubicada a la altura del kilómetro 45 y 48 de la RN-27 y su efecto en las rocas y concreto de los taludes, empleando la metodología de pH en pasta y ensayos acelerados en laboratorio, con el objetivo de definir el impacto que pueda tener sobre la infraestructura de la carretera.

Mediante muestreo sistemático y análisis de laboratorio se determinó la presencia de drenaje ácido de roca en los taludes 38+600, 45+000, 47+000 y escombreras del estacionamiento 48+000. En cada uno de estos sitios se recolectaron más de 30 muestras a diferentes niveles de altitud en los taludes tanto al lado derecho como al lado izquierdo. Las muestras fueron procesadas y analizadas en el laboratorio de geoquímica de la Escuela Centroamericana de Geología, con la metodología de pH en pasta y se determinó que en todos los casos analizados corresponden con valores que indican la presencia del proceso de drenaje ácido de roca. Esta parte del objetivo tiene un avance del 100 %.



Figura 13.1. Muestreo de rocas afectadas por DAR en taludes de los estacionamientos 45 y 47 de la Ruta Nacional 27

Para cumplir la segunda parte del objetivo general se muestrearon rocas sanas sin afectación por DAR en el km 39 y 48 (cerca de la línea del tren).



Figura 13.2. Muestreo de afloramientos de roca sana en km 39, en Ruta Nacional 27.

Además, se consiguieron núcleos de concreto lanzado nuevo con las mismas características del que se ha utilizado en los taludes de la RN-27. Estos núcleos y rocas sanas se sometieron a pruebas aceleradas en laboratorio con disoluciones de ácido sulfúrico con pH de 2, 4 y 5,5. Las pruebas duraron 85 días y hubo de ciclo continuo (85 días sumergidas en disolución) y de ciclo discontinuo donde se sacaban, se ponían en un horno, se limpiaban y luego se volvían a sumergir.



Figura 13.3. Experimento acelerado de núcleos de concreto y roca sana sometidos a disoluciones de ácido sulfúrico con diferentes grados de pH.

Actualmente se está trabajando en analizar a nivel estructural con difracción de Rayos X y Escáner electromagnético, las muestras de concreto y roca sana afectadas por el DAR, en colaboración con el



CIEMIC. La descripción petrográfica microscópica por medio de secciones delgadas de concreto y roca sana está muy avanzada, solo falta la revisión final de los resultados de las descripciones.

13.2. Densificación de la red de acelerógrafos en las áreas cercanas a puentes importantes

Objetivo: Mejoramiento de la cobertura para puentes importantes de la red de acelerógrafos del laboratorio de ingeniería sísmica mediante la instalación de nuevas estaciones.

Se ha elaborado una lista de los puentes con diferentes prioridades según el tipo de estructura y sus características espaciales. Esta lista ha sido entregada al Laboratorio de Ingeniería Sísmica y han colocada algunas de las estaciones.

Se han propuesto áreas en las cuales se podrían ubicar nuevas estaciones acelerográficas cercanas a puentes importantes tomando en cuenta un análisis de las propiedades cualitativas y espaciales de los puentes más importantes.

Se ha trabajado en conseguir los permisos necesarios para poder instalar una estación acelerográfica en la caseta de Guarda Parques en Quebrada Gonzales, Parque Nacional Braulio Carrillo. Este sitio está ubicado a solo 2 km de distancia del puente sobre el Río Sucio. Desde febrero de este año se logró instalar la estación por un periodo de prueba mientras se da el permiso de uso de sitio por parte del SINAC. Actualmente, en el sector Caribe, la estación acelerográfica más cercana se ubica en Guápiles.

Además del impacto que pueden tener los sismos en el Puente sobre el Río Sucio, estamos muy interesados en colocar esta estación en la caseta de guardaparques, debido a que se podrían documentar los registros de los lahares que están bajando por el cauce debido al deslizamiento de la Torres en el Volcán Irazú. Desde el 2013 se ha notado un aumento en la cantidad de material que está acarreado el río y que podría impactar al puente.

Informe LM-PI-UMP-R-001-17	Fecha de emisión: Junio 2017	Página 116 de 117
----------------------------	------------------------------	-------------------

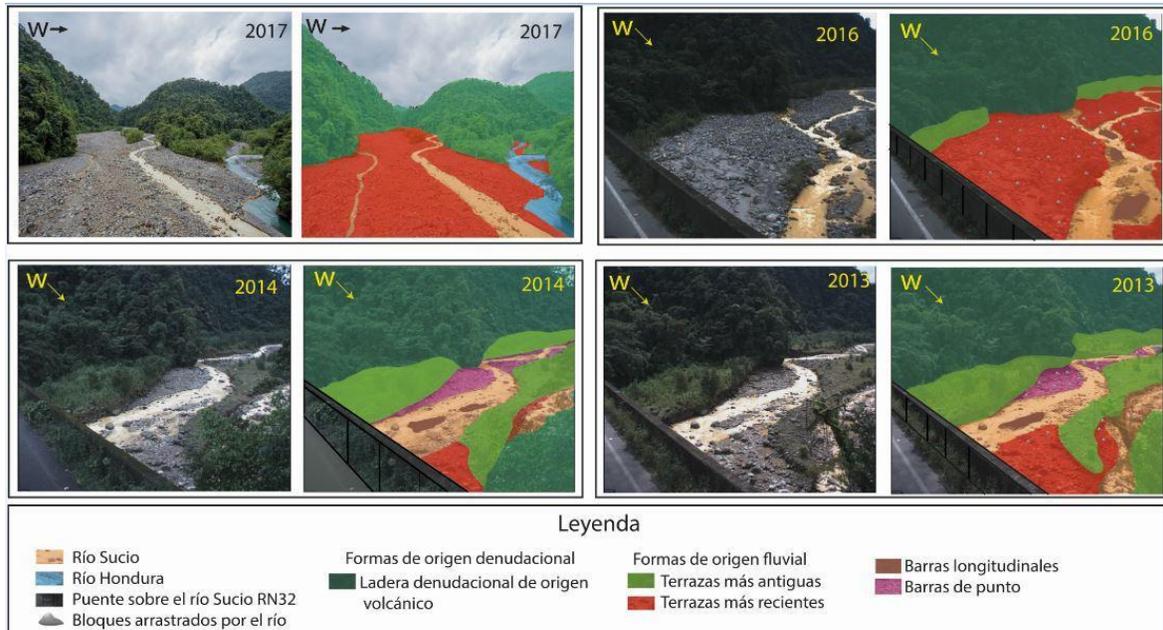


Figura 13.4. Diagramas que muestran la geomorfología preliminar del área de estudio del año 2013 a 2017, la perspectiva de las mismas mira hacia el N.

Dentro de este proyecto de investigación está la generación de un protocolo de revisión de puentes después de sismos. Este protocolo está en su fase final de revisión y se está además generando una guía para su utilización. Ya se diseñado y dado los cursos de capacitación para las personas que lo utilizarían.