

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil
Departamento de Transportes

**Diseño de un modelo para calificar la condición técnica de
pavimentos rígidos en servicio de la Red Vial Nacional de Costa Rica**

Trabajo de Graduación

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Diego Alberto Herrera Fallas

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Roy Barrantes Jiménez MSc., PMP®

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio


--- página en blanco ---



Ing. Roy Barrantes Jiménez, MSc. PMP®
Director



Ing. Melissa Rojas Marín
Asesora



Ing. Jairo Sanabria Sandino, PMP®
Asesor



Diego Alberto Herrera Fallas
Autor

--- página en blanco ---

Derechos de Propiedad Intelectual

Fecha: 2019, agosto, 22

El suscrito, Diego Alberto Herrera Fallas, cédula 4-0207-0867, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B03087**, manifiesta que es autor (a) del proyecto final de graduación **Diseño de un modelo para calificar la condición técnica de pavimentos rígidos en servicio de la Red Vial Nacional de Costa Rica**, bajo la dirección del **Ing. Roy Barrantes Jiménez, MSc, PMP®**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

--- página en blanco ---

DEDICATORIA

Cuando algo permanece por más tiempo del que esperas, podés confirmar que es real y que tiene un propósito... dedicar este proyecto, es reconocer acciones que me motivaron de manera especial, en alguna etapa de este proceso.

A toda mi familia, que nunca ha dudado, ha sabido acompañar, apoyar y comprender. Porque siempre me han dado lo más importante de la manera más desinteresada y amorosa posible.

A Mau y Mari, que desde siempre me han empujado para avanzar, que me demostraron que las amistades son reales y que la gente permanece. Simplemente los mejores amigos de la U y de la vida que uno puede tener. Gracias quesotes, por tantas risas y regañadas, con ustedes todo fue mejor.

A vos Andre, que desde el primer momento has sido mi persona de total confianza. También sos parte de esto, porque me ayudaste a aprender de momentos difíciles, siempre fuiste la mejor compañía y me ayudaste a comprender que hay cosas mucho más importantes.

A Bryan, sos una excelente persona, que has estado muy presente en este cierre de carrera, no solo como colega, si no como un hermano más.

A Mey y a Lau, por ser quienes son, chicas auténticas y de quienes he aprendido mucho. Gracias por tantos ratos compartidos y por siempre creer y apoyarme.

A Roy, Jairo, Garro, Cris, Ronald, Paul y Pablo porque fue un privilegio aprender de todos y compartir 5 años de asistencia en el LanammeUCR, son excelentes profesionales y personas excepcionales, a quienes considero mis amigos.

Y finalmente a todos mis compañeros y amigos, en especial a Ariel, Charlie, Elzania y Andre Borbón, con quienes compartí momentos muy especiales y fueron un gran apoyo en el cierre de la carrera.

...estudiar con amor es realizarse.

--- página en blanco ---

AGRADECIMIENTOS

Un gran reconocimiento a todo el personal de LanammeUCR que de alguna manera se involucró y colaboró con este proyecto, la ayuda y disposición refleja el gran nivel de profesionales que son. Especialmente, reconocer el excelente grupo de trabajo que es la UGERVN, en quienes encontré profesionales y asistentes comprometidos y amables, siempre atentos a cualquier llamado de colaboración.

A mi excepcional comité asesor, quienes realmente estuvieron presentes en todo el desarrollo del proyecto, Roy, Jairo, Melissa... un sincero y emotivo agradecimiento, ya que fueron personas claves para realmente disfrutar de un trabajo duro e interesante por tanto tiempo. Además, siempre se mostraron abiertos a compartir sus conocimientos y a disponer de su tiempo sin reparo alguno, para aclarar mis insistentes dudas y detalles.

También, agradecer a mi comité extraoficial: Francisco Garro, Christian Valverde, María Corella, Mey Vega y Bryan Núñez, con quienes discutí y comenté aspectos importantes muchas veces, y siempre estuvieron dispuestos a prestar atención y dar su valioso punto de vista.

Además, gracias infinitas a cada uno de mis amigos, que siempre han estado presentes, y han sido la base de motivación y apoyo incondicional por años. Simplemente formaron parte de todo el proceso, nunca me dejaron bajar la cabeza, y de alguna manera han creído en mí y en mis proyectos.

Finalmente, reconocer el amor, la paciencia y el soporte que he recibido de mi familia... simplemente estoy orgulloso y feliz de saber que cuento con muchas personas excelentes que amo.

--- página en blanco ---

Índice

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación.....	1
1.1.1. Problema Específico	1
1.1.2. Importancia.....	4
1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema	5
1.1.4. Potenciales instituciones o empresas interesadas en la investigación	6
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo general	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. Delimitación del problema	8
1.3.1. Alcance	8
1.3.2. Limitaciones	9
1.4. Metodología para el desarrollo del proyecto	9
1.4.1. Etapa 1: Investigación	11
1.4.2. Etapa 2: Diseño	11
1.4.3. Etapa 3: Aplicación.....	12
1.4.4. Etapa 4: Análisis	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Componente estructural en pavimentos rígidos	17
2.1.1. Eficiencia de Transferencia de Carga: LTE	17
2.1.2. Detección Potencial de Vacíos: PVD	19
2.2. Componente funcional en pavimentos rígidos.....	20

2.2.1. Índice de Regularidad Internacional: IRI	21
2.2.2. Escalonamiento Transversal: FLT	23
2.2.3. Índice de Condición del Pavimento: PCI.....	24
2.3. Componentes de seguridad vial en pavimentos rígidos: GRIP	26
CAPÍTULO III. GENERACIÓN DE INSUMOS PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDOS: TOMA DE DATOS, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	
3.1. Insumos para Delimitación.....	29
3.2. Insumos para Tramificación Homogénea	30
3.3. Insumos para Calificación Técnica General.....	33
3.4. Insumos para Análisis Específico.....	33
3.4.1. Levantamiento de deterioros superficiales específicos	33
3.4.2. Toma de datos de LTE y PVD	35
3.5. Insumos para Evaluación Complementaria	41
3.5.1. Ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento	41
3.5.2. Levantamiento de deterioros para PCI.....	42
3.6. Insumos para Recomendaciones de Intervención	43
CAPÍTULO IV. MODELO PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS RIGIDOS.....	
4.1. Delimitación	46
4.2. Tramificación Homogénea.....	46
4.3. Calificación Técnica General	51
4.4. Análisis Específico	52
4.4.1. Levantamiento de deterioros e identificación de causas estructurales	53
4.4.2. Calificación de LTE y PVD.....	54
4.5. Evaluación Complementaria	54

4.6. Recomendaciones de Intervención.....	55
CAPÍTULO V. APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS RIGIDOS: CARRETERA CAÑAS - LIBERIA	59
5.1. Delimitación de Cañas - Liberia.....	60
5.2. Tramificación Homogénea en Cañas - Liberia.....	62
5.3. Calificación Técnica General de Cañas - Liberia	65
5.4. Evaluación Complementaria en Cañas - Liberia.....	66
5.5. Recomendaciones de intervención para Cañas - Liberia.....	68
5.6. Resumen de evaluación de Cañas – Liberia.....	68
5.7. Ejemplos adicionales de aplicación del modelo de evaluación en Cañas - Liberia.....	69
5.7.1. Análisis específico: LTE en Cañas – Liberia.....	70
5.7.2. Análisis específico: PVD en Cañas – Liberia	72
5.7.3. Evaluación complementaria: PCI en Cañas – Liberia	74
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
6.1. Conclusiones	77
6.1.1. Evaluación de un pavimento rígido.....	77
6.1.2. Calificación de los aspectos sujetos a evaluación en un pavimento rígido	79
6.1.3. Recomendaciones generales de intervención.....	80
6.1.4. Modelo de calificación técnica general de pavimentos rígidos.....	80
6.2. Recomendaciones	81
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	83
APÉNDICES.....	89
Apéndice A. Mapas de indicadores de condición técnica de Cañas - Liberia 2019.....	89
Apéndice B. Lista de singularidades y sectores en Ruta Nacional 1 en Cañas - Liberia.....	94

Apéndice C. Cálculo de longitud mínima por sector para Cañas – Liberia, 2019	95
Apéndice D. Suberfiles a partir de diferencias acumuladas para Cañas – Liberia, 2019.....	96
Apéndice E. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector en Cañas – Liberia	98
Apéndice F. Análisis estadístico comparativo de LTE	101
ANEXOS.....	109
Anexo A. Clasificación de perfilómetros láser según ASTM - E950	109
Anexo B. Ecuación de ajuste lineal para tres puntos	110
Anexo C. Diagramas resumen para los cálculos de PCI según MAV-2016	112
Anexo D. Método de diferencias acumuladas	115
Anexo E. Solicitudes de trabajo e informes de ensayo de LanammeUCR para la evaluación de Cañas - Liberia.....	120

Índice de Figuras

Figura 1. Pavimentos rígidos de la Red Vial Nacional de Costa Rica	2
Figura 2. Esquema metodológico del proyecto	10
Figura 3. Esquema de la convención de signo para FLT	23
Figura 4. Rangos de Calificación de PCI.....	25
Figura 5. Perfilómetro láser propiedad de LanammeUCR	30
Figura 6. Equipo de auscultación visual Geo 3D, propiedad de LanammeUCR.....	34
Figura 7. Deflectómetro de Impacto propiedad de LanammeUCR.....	36
Figura 8. Configuración física del FWD para LTE y PVD	37
Figura 9. Ubicación del plato de carga del FWD para LTE y PVD	37
Figura 10. Grip tester propiedad de LanammeUCR	41
Figura 11. Esquema resumen de proceso de cálculo de PCI.....	43
Figura 12. Diagrama del modelo para evaluación de pavimentos rígidos	45
Figura 13. Ejemplo de tramificación homogéneos a partir de diferencias acumuladas.....	48
Figura 14. Ejemplo de detalle de superposición de tramos homogéneos	48
Figura 15. Matriz de calificación técnica general para pavimentos rígidos: Nota QR.....	52
Figura 16. Mapa de localización y ubicación del pavimento evaluado sobre Ruta Nacional 1.	60
Figura 17. Tramificación homogénea para Cañas – Liberia	63
Figura 18. Mapas de tramos homogéneos para la ruta evaluada	64
Figura 19. Matriz de calificación de nota QR para Cañas – Liberia	66
Figura 20. Mapa de evaluación de GRIP en Cañas - Liberia	67
Figura 21. Resumen de la evaluación de Cañas - Liberia del 2019.....	69
Figura 22. Comparación de LTE para huella y centro en un segmento de Cañas – Liberia....	70
Figura 23. Mapa de resultados de LTE para Cañas - Liberia.....	71
Figura 24. Ejemplo de calificación de PVD para los puntos con mayor FLT en Cañas – Liberia	73
Figura 25. Cantidad de losas afectadas según el tipo de deterioros en Cañas - Liberia	74
Figura 26. Mapa de resultados de PCI para Cañas - Liberia	75
Figura 27. Calificación por GN para la carretera Cañas – Liberia.....	89
Figura 28. Calificación por FLT en sentido Cañas – Liberia.....	90

Figura 29. Calificación por FLT en sentido Liberia – Cañas.....	90
Figura 30. Calificación por IRI en sentido Cañas – Liberia	91
Figura 31. Calificación por IRI en sentido Liberia – Cañas	91
Figura 32. Calificación por LTE en sentido Cañas – Liberia.....	92
Figura 33. Calificación por LTE en sentido Liberia – Cañas.....	92
Figura 34. Calificación por PCI en sentido Cañas – Liberia	93
Figura 35. Calificación por PCI en sentido Liberia – Cañas.....	93
Figura 36. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de FLT para el sentido Cañas - Liberia.....	96
Figura 37. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de FLT para el sentido Liberia – Cañas	96
Figura 38. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de IRI para el sentido Cañas – Liberia	97
Figura 39. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de IRI para el sentido Liberia – Cañas	97
Figura 40. Prueba de normalidad para LTE en el centro	101
Figura 41. Prueba de normalidad para LTE en la huella.....	102
Figura 42. Prueba Anova de un solo factor para LTE en el centro y en la huella.....	103
Figura 43. Prueba de normalidad para LTE en el centro de las losas, en todo Cañas - Liberia	104
Figura 44. Transformación de Johnson para LTE en el centro de las losas, en todo Cañas - Liberia.....	106
Figura 45. Hidrograma de la transformación de Johnson para LTE en el centro de las losas, en todo Cañas - Liberia	107
Figura 46. Diagrama de flujo para determinar las UM	112
Figura 47. Diagrama de flujo para el cálculo de PCI de una UM	113
Figura 48. Diagrama de flujo para el cálculo de PCI de una sección o ruta	114

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Listado de la Red Vial Nacional Pavimentada con hormigón	3
Cuadro 2. Equipo asociado a los indicadores de calificación de pavimentos	12
Cuadro 3. Clasificación de la transferencia de carga	18
Cuadro 4. Calificación de IRI para pavimentos rígidos.....	22
Cuadro 5. Nivel de impacto máximo de los deterioros superficiales sobre el PCI	26
Cuadro 6. Clasificación del pavimento según Grip Number	27
Cuadro 7. Pautas para la toma de datos con el perfilómetro inercial.....	31
Cuadro 8. Deterioros a identificar para Análisis Específico	35
Cuadro 9. Actividades de conservación vial asociadas a cada Nota QR.....	51
Cuadro 10. Asociación de deterioros superficiales a posibles problemas estructurales	53
Cuadro 11. Criterio de clasificación para indicadores a partir de FWD: LTE y PVD	54
Cuadro 12. Criterio de clasificación de agarre superficial	55
Cuadro 13. Criterio de clasificación de PCI.....	55
Cuadro 14. Actividades para pavimentos rígidos según CR-2010.....	56
Cuadro 15. Actividades de rehabilitación para cada tipo de deterioro en pavimento rígidos..	58
Cuadro 16. Números de informe y solicitud de ensayos por indicador	59
Cuadro 17. Ubicación de pasos a desnivel en Cañas-Liberia.....	61
Cuadro 18. Ubicación de puentes en Cañas-Liberia.....	61
Cuadro 19. Longitud mínima para tramos homogéneos por sector para Cañas - Liberia.....	62
Cuadro 20. Lista de tramos homogéneos para Cañas - Liberia	63
Cuadro 21. Notas funcional y estructural para cada tramo homogéneo en Cañas - Liberia...	65
Cuadro 22. Notas de LTE por tramo homogéneo para Cañas - Liberia	72
Cuadro 23. Requisitos para los ensayos de la metodología de evaluación.....	78
Cuadro 24. Listado de estructuras sobre Cañas - Liberia	94
Cuadro 25. Listado de sectores sobre Cañas - Liberia	94
Cuadro 26. Primera iteración para el cálculo de longitud mínima de tramos homogéneos	95
Cuadro 27. Última iteración para el cálculo de longitud mínima de tramos homogéneos.....	95
Cuadro 28. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector, sentido Cañas - Liberia	98

Cuadro 29. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector, sentido Liberia - Cañas.....	99
Cuadro 30. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector, ambos sentidos	100

Índice de Siglas y Abreviaturas

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (*American Standard Testing Materials*)

BSI: Institución Británica de Normas (*British Standard Institution*)

CONAVI: Consejo Nacional de Viabilidad

FLT: Escalonamiento Transversal (*Faulting*)

FWD: Deflectómetro de Impacto (*Falling Weight Deflectometer*)

IRI: Índice de Regularidad Internacional (*International Roughness Index*)

JPCP: Pavimento de concreto simple articulado o de juntas (*Jointed Portland Concrete Pavement*)

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica

LTE: Eficiencia de Transferencia de Carga (*Load Transfer Efficiency*)

MAV-2016: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes

MRI: Índice de Regularidad Promedio (*Mean Roughness Index*)

PCC: Pavimentos de Cemento Portland (*Portland Cement Concrete*)

PCI: Índice de Condición del Pavimento (*Pavement Condition Index*)

PVD: Detección de Vacíos (Potencial Void Detection)

RVNP: Red Vial Nacional Pavimentada

UGERVN: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional

--- página en blanco ---



19 de agosto de 2019
IC-1058-2019

Señor:
Diego Alberto Herrera Fallas
Presente

Estimado estudiante:

Según el artículo 39 del reglamento de Trabajos Finales de Graduación, la Escuela de Ingeniería Civil se complace en otorgarle la aprobación con distinción de su Trabajo Final de Graduación denominado "Diseño de un modelo para calificar la condición técnica de pavimentos rígidos en servicio de la Red Vial Nacional de Costa Rica."

Por este motivo le manifestamos nuestras más sinceras felicitaciones por su dedicación y empeño.

Atentamente,

Ing. Flor Muñoz Umaña, M.Sc.
Directora
Escuela de Ingeniería Civil

GAA
C.: Archivo

Universidad de Costa Rica
Ingeniería
CIVIL
Facultad de Ingeniería

Herrera Fallas, Diego Alberto
Diseño de un modelo para calificar la condición técnica de pavimentos rígidos en servicio de la Red Vial Nacional de Costa Rica
Proyecto de gradación-Ingeniería Civil- San José. C.R:
D. Herrera F.,2019
xx, 88, [60]h; ils. col. – 34 refs.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue diseñar un modelo para calificar la condición técnica de pavimentos rígidos en servicio de la Red Vial Nacional de Costa Rica y aplicarlo en un proyecto vial. Se aplicó el modelo a la carretera Cañas – Liberia, sobre Ruta Nacional 1 en la provincia de Guanacaste.

Para llevar a cabo esta investigación, se definieron los métodos de ensayos de campo con equipos de alta eficiencia, y los respectivos indicadores de condición técnica para pavimentos rígidos, para así, evaluar los aspectos funcional, estructural y superficial de pavimentos rígidos de rutas en servicio. Además, se relacionaron las estrategias de intervención a nivel de red (definidas en el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010) con el estado del pavimento evaluado.

El modelo de evaluación diseñado se compone de seis etapas: delimitación, tramificación homogénea, calificación técnica general, análisis específico, evaluación complementaria y recomendaciones de intervención; y en estas etapas, se desarrolla una metodología de evaluación escalonada o paulatina de seis indicadores (IRI o Índice de Regularidad Internacional, FLT o escalonamiento transversal , LTE o Eficiencia de Transferencia de Carga, PVD o detección de vacíos, GRIP o agarre superficial, y PCI o Índice de Condición del Pavimento), para determinar el estado general de un pavimento rígido. Se denomina Nota QR a la calificación técnica para un pavimento rígido, y se le relaciona una actividad de intervención para mejorar o mantener el estado de la carretera. D.A.H.F.

Palabras clave: EVALUACIÓN, PAVIMENTO RÍGIDO, JCP, RED VIAL NACIONAL, NOTA QR, INTERVENCIÓN, FWD, RSP, GEO 3D, IRI, FLT, LTE, PVD, GRIP, PCI.

Ing. Roy Barrantes Jiménez, MSc. PMP®.

Escuela de Ingeniería Civil

--- página en blanco ---

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

1.1.1. Problema Específico

La Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias, Ley 8114, determina la evaluación bienal de toda la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica (RVNP), con el fin de garantizar la máxima eficiencia en inversión de reconstrucción y mantenimiento de las vías. Para la evaluación de los pavimentos, el artículo 5 (República de Costa Rica, 2012) establece los siguientes aspectos a tomar en cuenta:

- Capacidad estructural
- Capacidad funcional
- La condición superficial de las vías (deterioros superficiales)
- Aspectos asociados con la seguridad vial
- Auscultación y diagnóstico de puentes

Para cumplir con lo establecido en la Ley 8114 se debe contar con mecanismos objetivos y reproducibles para evaluar los pavimentos considerando los aspectos anteriormente mencionados, y que permitan un correcto análisis y seguimiento de su estado. El ente designado a realizar la evaluación de la RVNP, es el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), quien ha realizado desde el año 2004 las campañas de evaluación bienal, y ha presentado los informes correspondientes a cada periodo.

Según el listado de la red vial del Consejo Nacional de Viabilidad (CONAVI), se cuenta en total con 7 786 km de carreteras, conformados por 5 191 km pavimentados, 2 581 km de carreteras de lastre y 14 km de carreteras de tierra. En la campaña de evaluación 2016-2017 realizadas por el LanammeUCR, se abarcó 5 105 km de pavimentos asfálticos, que representa el 98,3 % de la Red Vial Nacional Pavimentada.

Por otro lado, en los últimos años han aumentado los proyectos carreteros que involucran pavimentos de concreto hidráulico, como el caso de los proyectos Cañas-Liberia o la ampliación del tramo Limonal - Tempisque (ambos en la provincia de Guanacaste), y actualmente, se cuenta con 103 km de carreteras de pavimento rígido en servicio, que representa el 2,1 % de la totalidad de la RVNP (CONAVI, 2017). En la Figura 1 se muestra un mapa de Costa Rica con la RVNP representada con líneas color gris, y sobre ella en color negro se muestra los pavimentos rígidos presentes en esta red.

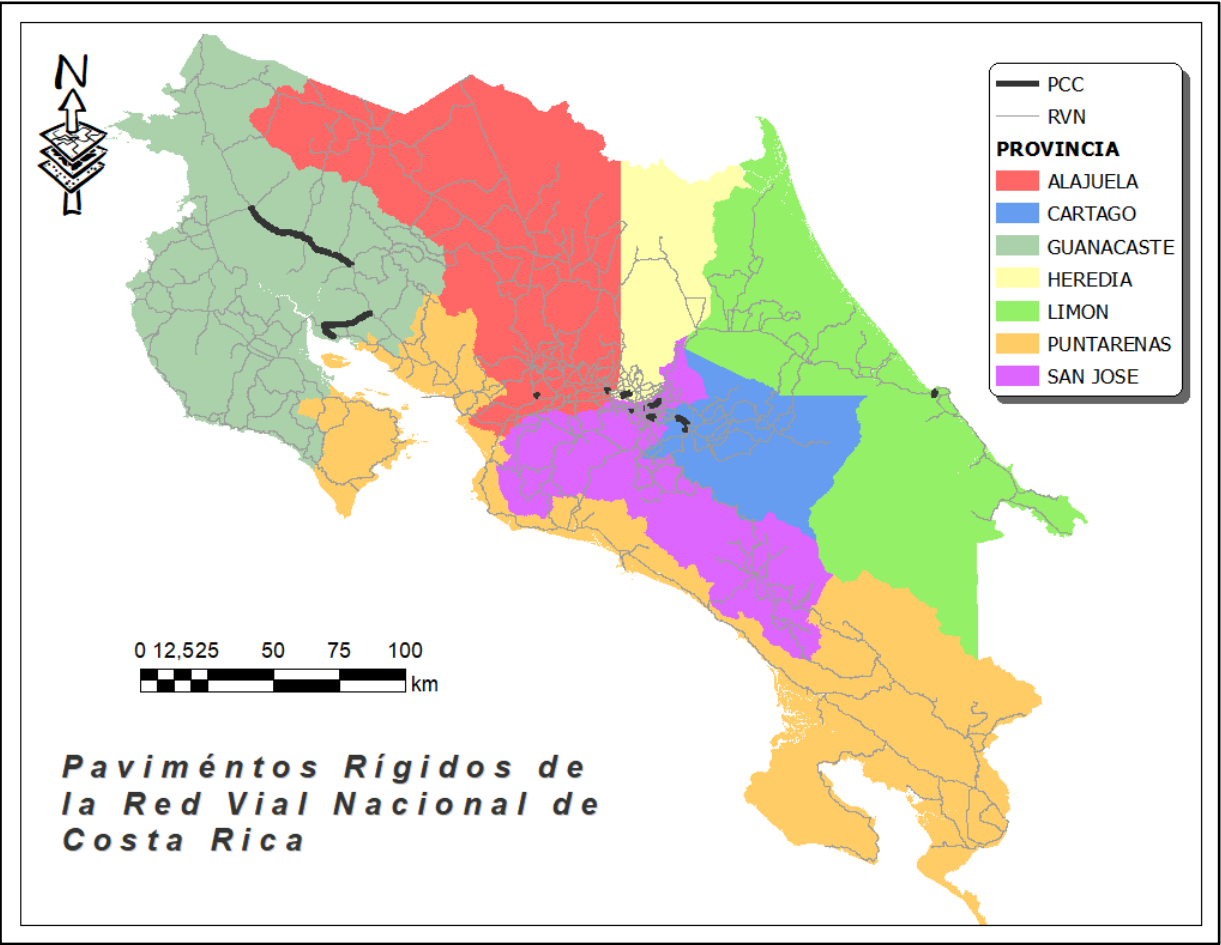


Figura 1. Pavimentos rígidos de la Red Vial Nacional de Costa Rica

Además, el listado de las secciones de control según CONAVI, que conforman el 2,1% mencionado anteriormente, se muestran en el Cuadro 1 agrupados según la provincia en donde se encuentran ubicadas, empleando la clasificación de rutas del Plan Nacional de Transportes 2011-2035 (PNT).

Cuadro 1. Listado de la Red Vial Nacional Pavimentada con hormigón

Provincia	RN	Sección	Clasificación de la Ruta según PNT	Longitud (km)	Ubicación
San José	105	19026	Distribuidores Regionales	1,00	San Rafael de Escazú
	108	19128	Red Básica de Acceso	0,45	Tournón - Río Torres
	109	19068	Distribuidores Regionales	1,35	Calle Blancos
	204	19047	Conectores de Integración Territorial	1,10	Zapote - San Francisco de Dos Ríos
	211	19056	Distribuidores Regionales	2,82	La Y Griega - San Francisco de Dos Ríos
		19084	Conectores de Integración Territorial	0,27	San Francisco de Dos Ríos - La Colina
	218	19065	Distribuidores Regionales	3,62	Guadalupe - Ipís
Alajuela	153	20250	Distribuidores Regionales	1,57	Aeropuerto Radial Alajuela - Alajuela
	713	21700	Red Básica de Acceso	1,75	Estanquillo-Estanquillo
Cartago	2	30110	Alta Capacidad	2,17	San Rafael de la Unión - El Alto de Ochomogo
		30730	Alta Capacidad	3,26	El Alto de Ochomogo - Taras
	10	30061	Alta Capacidad	1,50	La Lima - Guadalupe
Heredia	111	40120	Conectores de Integración Territorial	4,60	San Francisco
Guanacaste	1	50020	Alta Capacidad	9,20	Cañas- Corobicí
		50030	Alta Capacidad	16,38	Bagaces- El Salto
		51120	Alta Capacidad	12,69	Corobicí - Bagaces
		51130	Alta Capacidad	9,22	El Asalto - Liberia
	18	50850	Distribuidores Regionales	20,57	Limal - Quebrada Tanque
	601	50341	Red Básica de Acceso	6,74	Cruce a Porozal - Planta CEMEX
Limón	240	70410	Distribuidores Regionales	2,95	Buenos Aires - Moín

Bajo este contexto, la presente investigación, pretende solventar la inexistencia de un modelo de evaluación sistemática para pavimentos rígidos desde una propuesta objetiva y reproducible que permita la calificación técnica del estado general de este tipo de vías, a partir de la valoración estructural, funcional y superficial de la estructura, y además las correspondientes estrategias de intervención para cada unidad básica de estudio.

1.1.2. Importancia

Según los datos mostrados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), la Red Vial Nacional actualmente se compone de aproximadamente 7 600 kilómetros de carreteras, de los cuales unos 4 900 kilómetros son pavimentados y constituyen el principal medio de movilización de personas y mercancías en el país (MOPT, 2011); estos datos muestran el gran reto que representa gestionar el activo vial de Costa Rica por su complejidad e importancia.

Bajo este panorama, por medio del CONAVI, el Estado invierte grandes sumas de dinero en mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de vías nacionales, actividades que involucran unas 120 labores distintas. A manera de ejemplo, entre los meses de enero del 2014 y diciembre del 2015, se invirtieron \$253,8 millones (Sanabria, Barrantes, & Loría, 2017). A su vez, la eficiencia futura de este tipo de inversión tiene un componente fundamental, y es conocer la condición real del pavimento para poder planificar el tipo de intervención que se debe dar a cada sección o tramo de la red vial.

Desde el enfoque de eficiencia en inversión pública, y bajo el ya mencionado alcance de la Ley 8114 y su Reglamento (ver apartado 1.1.1. Problema Específico), resulta de suma importancia, estudiar la evaluación de pavimentos rígidos, y solventar la inexistencia de modelos de evaluación específicos para este tipo de pavimento en el país.

Además, al diseñar y probar el modelo, se contará con una herramienta importante para dar seguimiento periódico al desempeño de todo tipo de pavimentos de la RVNP, dejando de lado la incertidumbre que representa evaluar a nivel de red el estado de las carreteras de concreto hidráulico en forma sistemática.

Finalmente, este proyecto establece una base para el estudio de pavimentos rígidos desde un abordaje de gestión y evaluación, promoviendo futuros análisis técnicos para complementar o mejorar el diseño que se propone.

Por lo tanto, gracias al proceso de desarrollo del diseño del modelo de calificación para pavimentos rígidos de este proyecto, se espera ampliar los conocimientos respecto al tema y construir bases para futuras investigaciones.

1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

En Costa Rica, existe una metodología para definir unidades de observación de pavimentos por medio de auscultación visual, que da la base para clasificar y documentar los deterioros superficiales de manera imparcial con criterios técnicos. Esta guía es el *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV-2016)*, y contiene los lineamientos bases para pavimentos rígidos y flexibles de rutas nacionales.

En el año 2017, el LanammeUCR llevó a cabo por medio de la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN) la evaluación del estado de todas las juntas de las losas de concreto de los pavimentos rígidos en las Rutas Nacionales 204 y 211, en los tramos entre Zapote, San Francisco y La Colina; además se realizó el levantamiento completo de deterioros superficiales, así como ensayos de deflectometría de impacto para evaluar la transferencia de carga entre losas, mediciones de regularidad superficial y radar de penetración. A partir de la inspección visual y la aplicación de ensayos se logró determinar el estado de cada uno de los componentes analizados. También se dan conclusiones y recomendaciones del estado y mantenimiento de la carretera, como “implementar un sistema periódico de mantenimiento en esta ruta, para evitar que la inversión realizada se pierda, con la consiguiente afectación para los usuarios y el impacto en la economía local y nacional.” (Garro, Valverde, & Vega, 2017).

Otro proyecto con carretera de pavimento rígido evaluado por el LanammeUCR se encuentra sobre la Ruta Nacional 2 en la autopista Florencio del Castillo; el pavimento se compone de losas cortas y se extiende por 440 m. Se realizó un análisis visual de la condición superficial, y se recorrió el tramo con el perfilómetro láser del LanammeUCR, para determinar los valores de Índice de Regularidad Internacional (IRI) para segmentos de cinco metros de longitud (Ávila, Garro, Barrantes, & Loría, 2012).

Del mismo modo, en la Ruta Nacional 1, carretera Interamericana Norte, en el tramo Cañas Liberia, se realizó la evaluación de la vía durante el 2016 y se presentaron los resultados mediante el Índice de Condición Superficial (PCI por sus siglas en inglés). Adicionalmente, el informe presenta resultados de deterioros superficiales observados en el proyecto. Finalmente, se evaluó el desempeño de las losas de rodamiento mediante los parámetros de IRI y resistencia al deslizamiento GRIP. (Cervantes, Fonseca, Hidalgo, Salas, & Loria, 2016).

Queda por tanto claro que la evaluación de pavimentos rígidos en Costa Rica, se basa en estudios realizados en carreteras de la Red Vial Nacional Pavimentada, que se encuentran en servicio, sin embargo, en la mayoría de ellos, dichos estudios se basan en la determinación de las condiciones de serviciabilidad y estado superficial, y ninguno hace referencia a la determinación de una metodología para la calificación general e integrada de pavimentos rígidos.

Por último, no se identificó investigación nacional o internacional, que contemple la evaluación integral de pavimentos rígidos con medidas de intervención bajo un sistema de gestión vial, además se ha detectado la ausencia de rangos de evaluación definidos para algunos de los indicadores tales como transferencia de carga o presencia de vacíos bajo la losa.

1.1.4. Potenciales instituciones o empresas interesadas en la investigación

Como se explicó anteriormente, en este proyecto se diseñó un modelo de evaluación de pavimentos rígidos, aplicable a nivel de red vial en Costa Rica para carreteras en servicio. Dado que el LanammeUCR es la institución que por ley debe realizar la evaluación bienal de toda la RVNP, la convierte por tanto en la principal entidad interesada, ya que puede adoptar este modelo como base para complementar las evaluaciones y metodologías que han desarrollado en el estudio del estado de los pavimentos.

Otra razón por la cual LanammeUCR es interesado directo, se justifica al desarrollar los objetivos de la investigación, ya que se comprobó la necesidad de diseñar un modelo, para lo cual fue indispensable realizar ensayos de campo en las secciones definidas del proyecto vial Cañas – Liberia y el posterior análisis de los resultados obtenidos. Es por esta razón que se solicitó el apoyo al LanammeUCR con el uso de los siguientes equipos: Deflectómetro de Impacto, Perfilómetro Láser, Geo 3D (equipo de auscultación) y *GRIP Tester*; a partir de la

ejecución de los ensayos, el LanammeUCR probó algunas configuraciones y calibraciones propias de cada equipo según los datos deseados.

Además, el CONAVI es el ejecutor de las labores de conservación de la Red Vial Nacional, y el modelo propuesto, también definió las estrategias de intervención según la calificación técnica que presenta el pavimento, lo cual puede representar un incentivo para conocer la relación entre estas variables.

Por otra parte, empresas privadas dedicadas a la evaluación de pavimentos, pueden presentar interés en conocer este proyecto, ya que puede emplearse como base técnica, para conocer el estado de sus proyectos y como serán evaluados una vez entregados a la administración, o bien fundamentar sus modelos de evaluación en la presente propuesta.

En términos generales, esta investigación pretende ser de utilidad para cualquier parte que se encuentre involucrada con la gestión de proyectos viales, más específicamente en el ámbito de evaluación y mantenimiento de pavimentos rígidos en servicio.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar un modelo de calificación técnica para la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica mediante el análisis estructural, funcional y superficial de pavimentos rígidos en servicio.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir una metodología para la evaluación funcional, estructural y superficial de pavimentos rígidos de proyectos en servicio mediante ensayos de campo a nivel de red.
- Determinar los indicadores de condición técnica del pavimento evaluado en campo para la calificación de su estado general.
- Relacionar las estrategias de intervención a nivel de red con la calificación de estado general del pavimento evaluado.

- Probar la aplicabilidad del modelo diseñado mediante la evaluación del proyecto vial Cañas – Liberia.

1.3. Delimitación del problema

Para garantizar un adecuado uso del modelo de evaluación diseñado, se definieron características especiales de tipo de pavimento, dimensiones y propiedades de la vía. En caso de no cumplir con las descripciones que se presentarán a continuación, se deberían realizar modificaciones al modelo y nuevos estudios para determinar la influencia de las nuevas variables que se presenten.

1.3.1. Alcance

El presente proyecto pretende desarrollar un modelo para determinar el estado estructural, funcional y superficial de pavimentos rígidos de concreto simple articulado o de juntas, a partir de ensayos en campo. La metodología de aplicación de los ensayos estará dada para proyectos en condiciones de servicio y a nivel de red, específicamente, se calificarán los pavimentos rígidos que pertenecen a la Red Vial Nacional de Costa Rica.

El modelo de evaluación diseñado, será totalmente válido para aquellas denominadas losas largas, en las cuales su dimensión longitudinal excede a la transversal. Las dimensiones de las losas pueden estar determinado por el ancho de vía, ya que este tipo de estructura, presenta la característica de que una losa cubre el ancho de carril.

La unidad básica de análisis será el tramo homogéneo, y es por esta razón que las estrategias de intervención que se recomendarán podrán variar a lo largo de una ruta. Además, la calificación de calidad que se obtendrá con el modelo propuesto será representativa para el momento de la evaluación y para el estado del pavimento evaluado.

La aplicación del modelo se realizará en el proyecto vial de Cañas-Liberia localizado sobre la Ruta Nacional 1, ya que este cumple con los supuestos recién mencionados, bajo los cuales el modelo se diseñará; sin embargo, futuras evaluaciones basadas en los principios de esta investigación permitirán determinar la condición técnica de otras rutas.

1.3.2. Limitaciones

Al ser un modelo diseñado para la calificación a nivel de red vial, queda fuera del alcance generar resultados o caracterizar la condición de subtramos de una sección de control, o determinar intervenciones de pavimentos a nivel de proyecto. Tampoco es el fin de este diseño, utilizar el modelo como criterio de aceptación de proyectos nuevos o verificaciones de calidad constructiva de carreteras de concreto hidráulico.

La ejecución de las mediciones de campo y ensayos de evaluación, se pueden ver comprometidos por las condiciones atmosféricas que se presenten el día de la evaluación. Asimismo, los ensayos estarán condicionados al estado del equipo y adecuada configuración. También, se debe tomar en cuenta que el análisis está sujeto a las especificaciones y recomendaciones de los fabricantes de los equipos de medición del laboratorio de campo.

Además, los valores medidos de deflexión con la metodología propuesta, no deberán ser empleados como parámetro de diseño de pavimentos ni para otra finalidad que no sea calificación de la condición técnica general, debido a que las frecuencias de medición, así como el análisis de resultados serán propuestas a nivel de red.

En cuanto a los rangos de calificación de cada uno de los parámetros, se basarán en investigaciones previas, normativas y recomendaciones técnicas, ya que no se realizará la calibración o tropicalización de los mismos.

1.4. Metodología para el desarrollo del proyecto

La metodología seguida para el desarrollo del presente proyecto propuesto se muestra en la Figura 2, y consta de cuatro etapas que se comentan más adelante, con las cuales se busca desarrollar la investigación y verificar los postulados inicialmente propuestos.

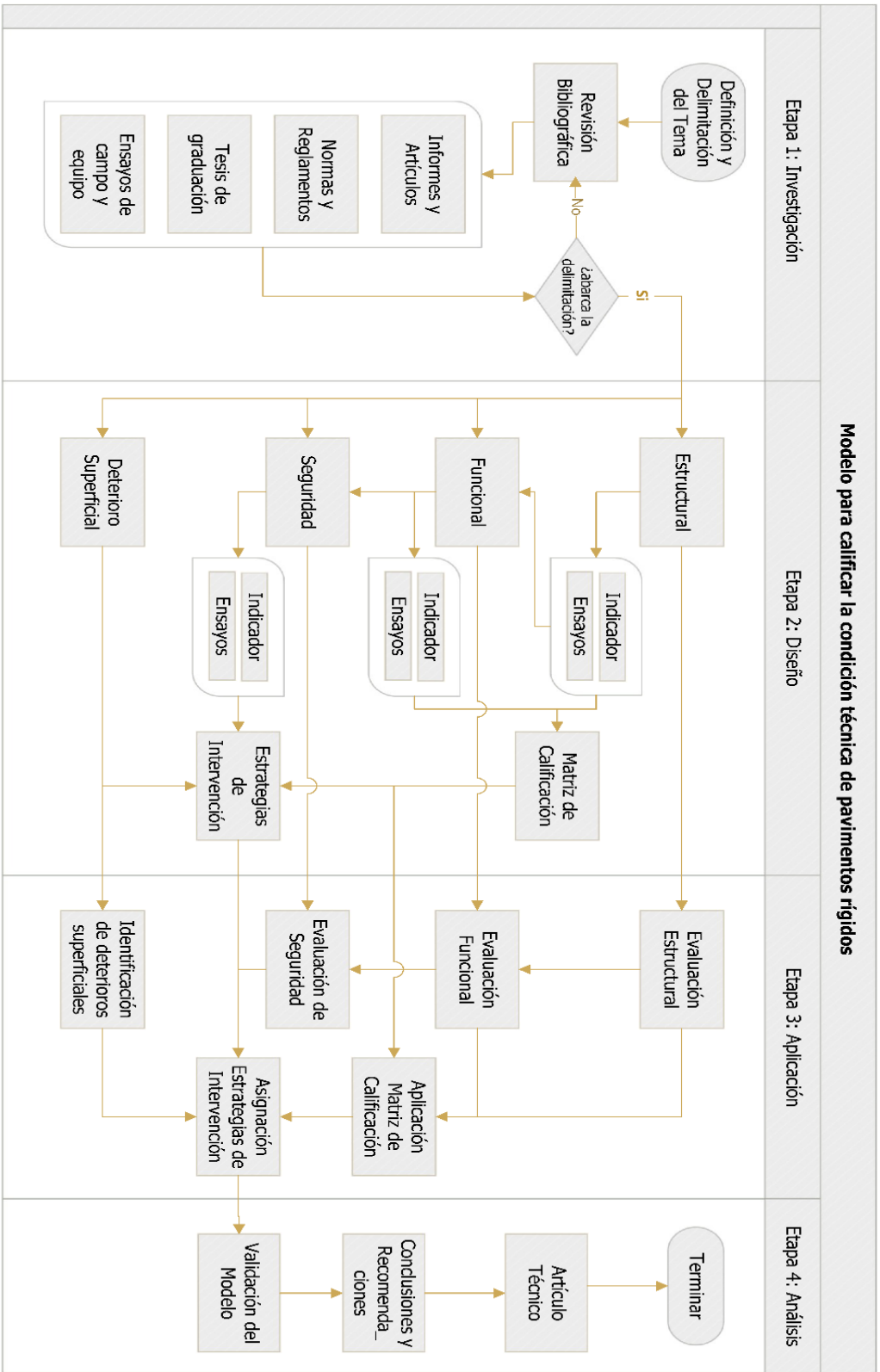


Figura 2. Esquema metodológico del proyecto

1.4.1. Etapa 1: Investigación

Inicialmente se definió el tema y se delimitó el problema para poder realizar el estudio mediante una extensa revisión bibliográfica, que abarcó los temas relacionados con el proyecto directa o indirectamente, y determinar las bases e investigaciones que se han desarrollado anteriormente.

La revisión bibliográfica abarcó: informes, artículos técnicos, normas, reglamentos, leyes, proyectos de graduación, procedimientos de ensayos de campo y equipo relacionado con la evaluación de pavimentos. También se definieron términos técnicos básicos relacionados con los pavimentos rígidos, como lo son capacidad estructural, capacidad funcional, deterioros en pavimentos, actividades de intervención, indicadores de condición, entre otros. Además, se identificaron los equipos existentes en Costa Rica que permiten realizar evaluaciones de componentes de condición en pavimentos.

1.4.2. Etapa 2: Diseño

El fin último de esta etapa, es obtener un modelo que califique el estado del pavimento rígido y sus estrategias de intervención recomendadas. Para lograr este objetivo, el modelo analiza uno a uno los principales componentes que definen la calidad del pavimento rígido, para luego obtener un efecto conjugado de los parámetros que así lo requieran; es por esto, que se determinaron los indicadores para los componentes estructural, funcional, de agarre superficial. Conjuntamente, se clasificaron los deterioros superficiales que pueden afectar la estructura de pavimento rígido en el componente funcional o estructural.

Además, se determinaron ensayos de campo con equipo especializado, y su respectiva configuración e indicaciones de toma de datos, basados en los puntos de interés de la medición y las variables que se definieron relacionadas a los componentes de calidad. Los ensayos relacionados con esta evaluación son la transferencia de carga de las losas, el porcentaje de vacíos bajo la losa, el agarre superficial, el escalonamiento, la regularidad superficial y los deterioros en la capa de ruedo. Cabe destacar que una parte del diseño consiste en establecer rangos para cada indicador, asignando además una nota de calificación para los componentes analizados.

En síntesis, el modelo se generó a partir de una integración de los principales indicadores, los ensayos de campo y los rangos de clasificación. Con componentes estructurales y funcionales, se obtiene una calificación por medio de la matriz que enlaza el efecto de estas dos variables; luego, con esta clasificación resuelta, se determina el indicador de seguridad por agarre superficial y de ser necesario se analizan los deterioros superficiales, para finalmente recomendar estrategias de intervención general adecuadas según la condición del pavimento.

1.4.3. Etapa 3: Aplicación

Esta etapa busca verificar la trazabilidad del modelo diseñado, ya que se calificaron los tramos de un proyecto real (Ruta Nacional 1, Carretera Interamericana Norte, tramo Cañas-Liberia) y se utilizó el equipo especializado de LanammeUCR para evaluar pavimentos; finalmente se pretende que la condición obtenida represente y describa la condición real actual.

El siguiente cuadro muestra los indicadores y el equipo asociado para la evaluación.

Cuadro 2. Equipo asociado a los indicadores de calificación de pavimentos

<i>Aspecto</i>	<i>Equipo e Indicador</i>
Capacidad Estructural	Deflectómetro de Impacto: LTE y PVD Perfilómetro Laser Inercial: FLT
Capacidad Funcional	Perfilómetro Laser Inercial: IRI
Condición de Seguridad	Grip tester: GRIP
Condición Superficial	Geo 3D: Deterioros Superficiales y PCI

Los resultados de las pruebas de campo para este proyecto, fueron datos previamente tomados, o resultantes de nuevos ensayos solicitados para este proyecto con la respectiva coordinación con el LanammeUCR cuando fue necesario. Las mediciones realizadas fueron registradas de manera digital y se procedió a procesarlas para continuar con la calificación de cada indicador. Para el procesamiento, se hizo uso de bases de datos y sistemas de ubicación geográfica.

Luego de la evaluación de los indicadores para cada una de las unidades básicas de análisis, con los componentes estructurales y funcional, se obtuvo una calificación general haciendo uso de la matriz de calificación (parte del proceso de diseño del modelo). Para finalizar esta etapa, se designaron las estrategias de intervención para cada tramo analizado.

1.4.4. Etapa 4: Análisis

Según la estructura del presente proyecto, se cuenta con un diseño respaldado por toda la investigación previa al desarrollo y que además fue puesto en práctica en la tercera etapa de la metodología. A partir de la aplicación del modelo, busca validar la propuesta con base en el análisis de los resultados obtenidos y del cumplimiento de los postulados teóricos de referencia.

Además, en cada uno de los indicadores de condición técnica, se debe verificar el comportamiento de los valores tomados en campo, para asegurarse tener datos confiables; esta verificación, se realizó mediante la aplicación de filtros en cada uno de los indicadores según las variables que pueden afectar, como por ejemplo la temperatura, velocidad de tránsito de los equipos, cargas aplicadas, entre otras.

Finalmente, al obtener la calificación general y estrategias de intervención de los sectores analizados del proyecto Cañas – Liberia, se debe probar la trazabilidad y funcionalidad del modelo, de modo que concuerden con evaluaciones previas individuales realizadas, y además que reflejen el estado esperado para un proyecto nuevo en las condiciones aparentes.

--- página en blanco ---

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Los pavimentos son estructuras utilizadas para proveer una superficie regular de ruedo para la movilización de personas y mercancías vía terrestre, y son diseñadas para satisfacer los requerimientos de desempeño de manera integral.

Según Kraemer & Del Val (s.f.), se define el pavimento como un “conjunto de capas superpuestas, relativamente paralelas, de varios centímetros de espesor, de materiales de diversas características, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante obtenida por el movimiento de tierras y que han de soportar las cargas del tránsito durante varios años sin presentar deterioros que afecten la seguridad y la comodidad de los usuarios o la propia integridad de la estructura.” (Loría, L.G., 2018). Según el tipo de estructura podemos clasificarlos en tres tipos: flexibles, rígidos y compuestos. En este trabajo el enfoque se dirige a los pavimentos rígidos, ya que son el tipo de pavimento para el cual se desarrollará el modelo de calificación.

La estructura de los pavimentos rígidos está conformada por una capa de concreto hidráulico apoyada sobre una base o subbase, y ambas capas deben estar diseñadas para cumplir con el propósito que se menciona a continuación:

- Subbase: “proveer un soporte uniforme, estable y permanente a la losa de concreto durante su construcción y vida útil; asimismo, incrementa la capacidad de carga del terreno de cimentación al aumentar la rigidez de la estructura, esto hace que se impida la migración de finos del terreno de cimentación hacia la superficie de la losa a través de grietas o por medio de las juntas.” (Garnica, Sersma, & Gómez, 2002).
- Losa o capa superior: “resistir los efectos del tránsito, intemperismo, durabilidad, factores climáticos, deformaciones, agrietamientos, etc.” (Garnica et al., 2002).

Según Loría (2018) los pavimentos rígidos se clasifican según su estructura en cuatro tipos: pavimento de concreto simple articulado o de juntas (JPCP), pavimento de concreto reforzado - articulado (JRCP), pavimento de concreto continuamente reforzado (CRCP) y pavimento de concreto pretensado (PCP); en todos los casos las siglas corresponden a las iniciales de sus respectivos nombres en inglés. En Costa Rica únicamente se emplean los JPCP para los proyectos de la Red Vial Nacional Pavimentada.

En cuanto a los pavimentos tipo JPCP, se tienen las siguientes características:

Los pavimentos de concreto Portland con juntas (JPCP por sus siglas en inglés), están compuestos por losas con dimensiones de 3 m a 6 m, sin refuerzo de acero dentro de la losa pero ligada con las losas vecinas mediante elementos de acero para la transferencia de carga entre elementos (dovelas). Es posible incluso no utilizar dovelas y depender únicamente de la trabazón de agregados para la transferencia de carga entre elementos. Las longitudes de las losas responden a requerimientos térmicos y prevenir el agrietamiento de los elementos. (Quirós, 2015).

Los pavimentos son estructuras diseñadas con la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas a las que se verá expuesto durante el periodo de su vida útil (cantidad acumulada de ejes equivalentes) y con un nivel de confort adecuado; sin embargo, también son estructuras concebidas para cumplir su vida útil con un avance progresivo de su deterioro, propio de la naturaleza de los componentes y su exposición al entorno. Es por el deterioro que sufren los pavimentos, que se deben intervenir de manera adecuada y en el plazo correcto mediante técnicas de conservación y mantenimiento específicas para así poder asegurar un buen nivel de servicio las carreteras.

Para poder gestionar de manera eficiente y oportuna una red vial, se debe conocer el activo vial como tal, y estudiar periódicamente el estado real del pavimento, el cual como ya se mencionó, presenta componentes estructurales, funcionales y superficiales.

Al hablar de desempeño estructural, se hace referencia a la capacidad del pavimento para soportar las cargas debidas al tráfico y a las condiciones del entorno; mientras que el desempeño funcional, está directamente relacionado con la serviciabilidad. Estos son componentes que deben ser optimizados para un adecuado funcionamiento de una carretera, sin embargo, se debe complementar con temas de seguridad vial. Estos aspectos deben de optimizarse de manera conjunta para optar por un adecuado funcionamiento de las vías. A continuación, se describirán con detalle aspectos de estos componentes del estado técnico de un pavimento rígido.

2.1. Componente estructural en pavimentos rígidos

La condición estructural del sistema de losas, estará determinada principalmente por dos propiedades: la capacidad de transferencia de carga entre las losas en el sentido longitudinal de la vía y el soporte inferior de las losas al recibir cargas de tráfico. Ambos aspectos se relacionan con las deflexiones que se presenten entre losas adyacentes al percibir una carga, y por ende, se puede hacer uso del deflectómetro de impacto para el análisis de su condición.

Se define un deflectómetro de impacto como “un equipo de alta tecnología que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto, debido al golpe de un peso lanzado desde un mecanismo diseñado específicamente con este propósito”. (LanammeUCR, 2013a). La configuración de carga y distribución de los sensores de un deflectómetro se pueden ajustar según lo requieran los ensayos.

2.1.1. Eficiencia de Transferencia de Carga: LTE

La transferencia de carga es la capacidad presente en las juntas de un pavimento rígido de trasladar los esfuerzos entre losas consecutivas de manera continua. Los principales elementos responsables de garantizar este efecto son las dovelas y el entrabamiento de los agregados en la capa inferior a las losas.

La principal respuesta de un pavimento que se relaciona con la transferencia de carga es la deflexión, puesto que, tras aplicar un peso sobre la superficie de una losa, esta naturalmente sufre un desplazamiento vertical (que será reversible una vez desaparezca la carga), y en el momento es que esta carga se localiza cerca del borde transversal, la losa adyacente también sufre del mismo efecto. Cabe recalcar que este es el efecto dinámico producido por el paso de las cargas de tráfico para las cuales está concebida una superficie de ruedo.

La manera de determinar la eficiencia del sistema para transmitir esfuerzos, se realiza mediante el ensayo de Eficiencia de Transferencia de Carga o LTE (*Load Transfer Efficiency*), el cual se basa en medir las deflexiones en puntos equidistantes de la junta al aplicar una carga. Según estudios realizados por el programa estadounidense *Long-Term Pavement Performance* (LTPP) el LTE se define por la siguiente ecuación:

$$LTE = \frac{d_u}{d_l} \times 100\%$$

Donde se define d_u como la deflexión en la losa descargada y d_l como la deflexión en la losa cargada. (Khazanovich, L & Gotlif, A, 2003). La transferencia de carga, se clasifica según el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Clasificación de la transferencia de carga

Transferencia de Carga	Razón de deflexión en la junta
Completa	0,90 a 1,00
Parcial	0,21 a 0,89
Nula	0,00 a 0,20

Según (Ricci, E, Meyer, A, Hudson, W, & Stokoe II, K, 1985)
Traducido y modificado por: Herrera, 2019

A partir del indicador LTE, se puede asegurar que valores de 100 % representan una perfecta condición de transferencia de carga, lo que implica deflexiones idénticas a puntos equidistantes de la junta transversal. Conforme disminuyen los valores de LTE, se incrementan los problemas estructurales del pavimento, y se da un comportamiento distinto entre losas adyacentes.

Valores menores de LTE “se relacionan con grietas longitudinales en el corto plazo, y valores altos de IRI en el mediano y largo plazo” (Garro et al., 2017), los posibles deterioros por este fenómeno son: escalonamiento entre calzada y juntas, fractura de junta y esquina y grietas de esquina.

La Universidad de Virginia, Estados Unidos estudió correlaciones de LTE con algunas variables, que suelen ser importantes para considerar al evaluar los pavimentos rígidos. En el informe, Shoukry, S et al. (2005) exponen las siguientes conclusiones:

- Existe una relación directamente proporcional entre la eficiencia de transferencia de carga y la temperatura de la losa.
- La medición de LTE puede variar según la estación del año en que se calcule.

- El diámetro de las dovelas afecta en la variabilidad de la transferencia de carga.

Por su parte, la *Federal Highway Administration* presenta las siguientes correlaciones según Khazanovich & Gotlif (2003):

- Los valores de LTE dependen del tipo de pavimento: las grietas CRCP presentan mayor LTE que las junta en los pavimentos JCP.
- El mecanismo de transferencia de carga afecta al indicador LTE: se presenta mayor LTE en losas con dovelas.
- Los sistemas de losas sin dovelas con alto LTE son menos propensas a presentar escalonamiento que aquellas con bajo LTE.
- Para los pavimentos JCP se presentan bajos valores de LTE con presencia importante de escalonamiento
- Existe diferencia entre el LTE de las losas de aproximación y salida.
- Se encontró una correlación pobre entre el LTE y los parámetros de diseño tales como el espesor, la resistencia, el contenido de acero de diseño, el espaciamiento de las juntas y la orientación de las mismas.

2.1.2. Detección Potencial de Vacíos: PVD

Un vacío puede describirse como cualquier área de la base del pavimento en la que no esté apoyada una losa. La ubicación más común de este fenómeno es a lo largo del borde exterior del carril de circulación en cualquiera de las juntas transversales o grietas con poca transferencia de carga. Se atribuyen las causas a una combinación entre exceso de humedad y una gran deflexión independiente de la losa en respuesta a una carga, lo que provoca la erosión de finos de la subrasante o de la subbase. (Crovetti, J & Darter, M, s.f.)

Los vacíos bajo la losa, pueden ser detectados a partir de ensayos de deflectometría, ya que presentará deflexiones excesivas o discontinuidades en el cuenco de deflexiones. Además, para valores de LTE mayores al 100 % existe un potencial de vacíos asociado.

Según el Departamento de Transportes de Missouri, para calificar la condición de vacíos en un pavimento rígido, se deben graficar puntos de carga contra deflexión y posteriormente proyectar hacia atrás la línea de tendencia lineal hasta encontrar la deflexión bajo la condición de carga nula, este valor será denominado como D0, y servirá de parámetro de comprobación según la siguiente descripción: un candidato de sellado inferior leve alcanzó el eje de desviación entre tres y siete milésimas de pulgada, mientras que un candidato de sellado inferior fuerte igualó o superó las siete milésimas de pulgada. (Donahue, J, 2004).

En cuanto a los deterioros superficiales que se dan producto de la falta de soporte de la losa, se recalcan: bombeo de finos, escalonamiento, punzonamiento, grietas de esquina, losa dividida cerca de la junta transversal y agrietamientos lineales. Cabe aclarar que esta no es la única causa de estos deterioros, por tanto, al detectar estos deterioros se debe comprobar si se deben a vacíos bajo la losa o no.

2.2. Componente funcional en pavimentos rígidos

La capacidad funcional de un pavimento está directamente ligada con la regularidad superficial de la carpeta de ruedo, lo cual está "intrínsecamente relacionada con el confort, adecuadas velocidades de circulación, bajo consumo de combustible, bajos costos de operación vehicular por deterioro de los vehículos y durabilidad de los pavimentos por menores cargas dinámicas de los vehículos" (Sanabria et al., 2017); este componente puede ser evaluado mediante el perfilómetro laser inercial.

El perfilómetro inercial es un equipo de alta precisión y rendimiento, que puede ser operado a las velocidades de tránsito. "Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial, integrado por acelerómetros colocados en el vehículo los cuales permiten obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de "no contacto" (por ejemplo, dispositivos láser infrarrojos) utilizados para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento" (Leiva, P, Hidalgo, A, Arriola, R, & Loria, L.G., 2014).

Otro tipo de evaluación importante para determinar el estado funcional, es la identificación de deterioros superficiales en el pavimento y sus causas respectivas. Esta evaluación, se puede realizar con equipo como el Geo 3D, cámaras o de manera visual sin equipo.

2.2.1. Índice de Regularidad Internacional: IRI

A partir de lo establecido en la norma ASTM E-867-06 *Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*, se define el término rugosidad como la “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal” (Badilla, G, Elizondo, F, & Barrantes, R, 2008)

A partir de la definición anterior se desarrolla la idea de realizar mediciones y acumular el efecto de las imperfecciones al transitar por una vía, y es por esto que se define el IRI como indicador universal; según Badilla, Elizondo & Barrantes (2008), Paterson lo define en 1986 como:

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h.

Es importante recalcar que el IRI se calcula a partir de los valores tomados del perfil longitudinal de una carretera, y su valor depende de la longitud de cálculo, la cual no debe exceder los 300 m. Al especificar un valor de IRI se debe expresar en unidades de m/km o mm/m, y se debe especificar la longitud de cálculo.

Comúnmente se suele hablar del MRI o *Mean Roughness Index*, que es el valor promedio de dos valores de IRI. Este concepto es de gran utilidad cuando se cuenta con dos perfiles longitudinales, medido de manera simultánea, como puede ser el caso de la toma de datos de regularidad en ambas huellas con la finalidad de evaluar aspectos funcionales en un pavimento.

En cuanto a cómo determinar si una condición de IRI es adecuada para una carretera, dependerá del tipo de pavimento evaluado y la longitud de cálculo del indicador; por lo que el siguiente cuadro muestra la calificación de IRI para pavimentos rígidos, una correspondencia respecto a los valores de PSI, y además, una descripción del pavimento según AASHO.

Cuadro 4. Calificación de IRI para pavimentos rígidos

Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHO)			Calificación	Descripción AASHO
PSI	IRI	Rangos de IRI		
5,0	0	0-1,4	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficiente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaría como muy buenos.
4,5	0,97			
4,0	1,4			
3,0	2,3	1,4-2,3	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
2,5	2,9	2,3 - 3,6	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
2,0	3,6			
1,5	4,6	3,6 - 6,0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1,0	6,0			
0,0	11,2	>6,0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Fuente: (Ávila et al., 2012). Modificado por Herrera, 2019

2.2.2. Escalonamiento Transversal: FLT

Se define el escalonamiento transversal o *faluting* (FLT), como la diferencia de nivel en las juntas entre las superficies de las losas consecutivas en el sentido longitudinal de la carretera, su efecto suele percibirse como un golpeteo al avanzar entre losas.

El MAV-2016 define las principales causas del escalonamiento transversal como:

- Diferencia entre el asentamiento o erosión.
- Asentamientos diferenciales de la subrasante.
- Deficiencias en el traspaso de cargas entre las losas
- Incremento de la infiltración del agua. Mal drenaje

Las primeras tres causas mencionadas corresponden a deficiencias estructurales en el pavimento, lo cual indica que, aunque se trate de un componente funcional de la carretera, es un buen reflejo de la capacidad estructural presente en el pavimento.

El FLT en una junta o grieta, se puede presentar como un hundimiento o como un ascenso del nivel, y por notación se habla de un escalonamiento positivo o negativo respectivamente. La convención adoptada respecto al signo del FLT se ilustra en la Figura 3.

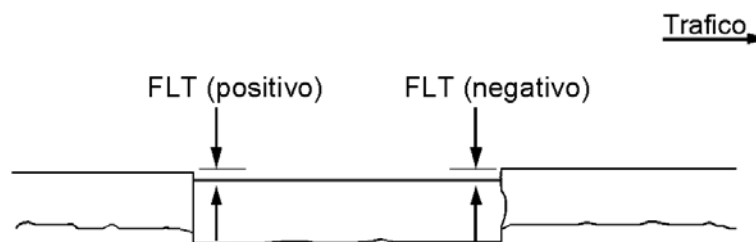


Figura 3. Esquema de la convención de signo para FLT

Fuente: (AASHTO, 2017). Modificada por: Herrera, 2019

Para clasificar el FLT, se considera la severidad del deterioro según lo definido en el MAV-2016, donde se considera baja severidad para diferencias de elevación entre 3 mm y 10 mm, media de 10 mm a 20 mm y alta para valores mayores a 20 mm.

2.2.3. Índice de Condición del Pavimento: PCI

Los deterioros sobre una calzada, se presentan como consecuencia de deficiencias estructurales o funcionales de un pavimento. Según en las condiciones en que se presente cada deterioro, se puede asociar e identificar causas probables.

En el año 2016, el MOPT publicó un documento llamado “Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica” o MAV-2016, como se mencionó anteriormente; este documento nace con la finalidad de estandarizar una metodología de evaluación para todo tipo de pavimentos, bajo las premisas de ser imparcial y objetivo.

El MAV-2016, es una guía para obtener el PCI de una carretera, concepto que en este mismo documento se define de la siguiente manera:

Índice de Condición Superficial que por sus siglas en inglés se entiende por PCI (norma ASTM D6433). Este índice varía de 0-100, donde 0 es la peor condición y 100 la mejor. El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta. (MOPT, 2016).

Como se acaba de mencionar, el modelo se basa en la clasificación de los deterioros presentes en carretera, y para identificar los daños superficiales de pavimentos rígidos se puede realizar una inspección visual o bien hacer uso del equipo Geo 3D que se compone de un conjunto de cámaras fotográficas de alta resolución. Además, los lineamientos base de este tipo de evaluación los dicta el MAV-2016, el cual agrupa los deterioros en los siguientes cuatro tipos:

- 1) **Grietas:** agrietamiento lineal, grieta de esquina, grietas por contracción, grieta de malla o resquebrajadura y losa dividida.
- 2) **Juntas:** daño en el sello de la junta, fracturas de esquina y fractura de la junta.
- 3) **Deterioro Superficial:** pulimiento de agregados y desprendimiento de agregados.

- 4) **Misceláneos:** voladura, escalonamiento calzada-junta, escalonamiento calzada-espaldón, bombeo, punzonamiento, baches y cruce de línea férrea.

Para finalmente lograr calificar el PCI a partir de los deterioros, se realiza una ponderación del daño que representan estas fallas, y estos valores se restan a 100 que representa la condición óptima de un pavimento. La escala de calificación por PCI se muestra en la Figura 4.

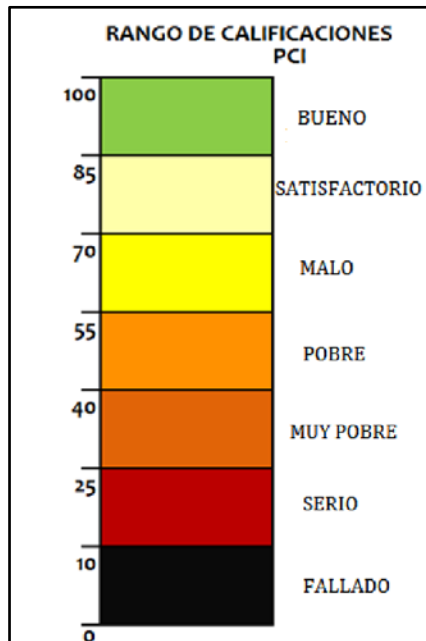


Figura 4. Rangos de Calificación de PCI
Fuente: (MOPT, 2016)

Cabe recalcar que los principios de este método de evaluación provienen de la norma ASTM D6433-18 "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys".

Adicionalmente, en el Cuadro 5 se muestra el listado de los deterioros superficiales definidos en el MAV-2016, ordenados de forma descendente según la afectación a la condición del pavimento, según el PCI. Para determinar el nivel de impacto, se revisó el máximo valor deducido (VD) para cada uno de los deterioros, que se presenta con un nivel de severidad alto.

Los primeros cuatro deterioros mostrados en el Cuadro 5 reflejan un pavimento evidentemente fallado, y sobresale el efecto del escalonamiento entre calzada y juntas (quinto en la lista) como el principal entre los problemas que no implican losas falladas o fraccionadas.

Cuadro 5. Nivel de impacto máximo de los deterioros superficiales sobre el PCI

No.	Tipo de deterioro	Descripción	VD máximo
1	Misceláneos	Voladura (<i>Blow up</i>)	100
2	Misceláneos	Cruce de línea férrea	95
3	Grietas	Losa Dividida	92
4	Misceláneos	Punzonamiento	86
5	Misceláneos	Escalonamiento entre calzada y juntas	83
6	Grietas	Grieta de Esquina	79
7	Misceláneos	Baches (Grandes)	72
8	Grietas	Agrietamiento Lineal	65
9	Grietas	Grietas en Malla o Resquebrajadura	65
10	Juntas	Fractura de Junta	55
11	Misceláneos	Bombeo	38
12	Misceláneos	Escalonamiento entre calzada y espaldón	32
13	Juntas	Fractura de Esquina	30
14	Misceláneos	Baches (Pequeños)	25
15	Deterioro Superficial	Desprendimiento de Agregados	15
16	Deterioro Superficial	Pulimiento de agregado	10
17	Juntas	Daño en sello de junta	8
18	Grietas	Grietas por contracción	4

2.3. Componentes de seguridad vial en pavimentos rígidos: GRIP

En cuanto a consideraciones de seguridad vial de una superficie de ruedo, resalta la medición del agarre superficial, un equipo común de uso es el *Griptester*, cuya función principal es “examinar las características de fricción de las carreteras en condiciones adversas” (LanammeUCR, 2014). El griptester es considerado como un equipo de prueba con rueda parcialmente bloqueada (*Fixed Slip*) y posee la capacidad de medición continua a velocidad de

tránsito normal (hasta 130 km/h), simulando condiciones con presencia de agua sobre la superficie.

La fricción presente en una superficie se ve afectada directamente por los siguientes factores: material de la superficie de ruedo como agregados y ligantes, adherencia pavimento – rueda, presencia de fluidos como agua en la carretera, estación del año, velocidad de tránsito y acumulación de contaminantes entre la textura del pavimento. Aunque son muchas las variables que afectan la capacidad de frenado en carreteras, se debe conseguir una excelente condición ante el peor de los panoramas, ya que esto se ve directamente ligado al potencial de accidentes y seguridad de los usuarios.

En el Cuadro 6 se muestra la asociación entre el *Grip Number (GN)*, la condición deslizante y el tipo de pavimento representativo para cada rango de calificación por GRIP según Leiva (2005).

Cuadro 6. Clasificación del pavimento según Grip Number

Coeficiente de fricción Transversal (CFT) medido con SCRIM*	Valor de Grip Number	Condición	Nivel			Tipo de pavimento evaluado
			Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentalidad **	
Menor a 0,36	< 0,5	Malo	Deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo
0,36 a 0,45	0,5 a 0,6	Regular	Potencialmente deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y pérdida de textura
0,45 a 0,60	0,6 a 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura
Mayor a 0,60	> 0,78	Muy Bueno	Muy poco deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas

Fuente: (Leiva, F, 2005). Modificado por: Herrera, 2019

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, se esperan valores de GN de al menos 0,6 para pavimento rígidos, y se asocian a condiciones seguras de tránsito basados en deslizamiento.

--- página en blanco ---

CAPÍTULO III. GENERACIÓN DE INSUMOS PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDOS: TOMA DE DATOS, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El modelo diseñado en esta investigación para calificar el estado técnico de un pavimento rígido se compone de seis etapas de evaluación que se detallarán en el siguiente capítulo: delimitación, tramificación homogénea, calificación técnica general, análisis específico, evaluación complementaria y recomendaciones de intervención; pero antes, en este apartado del documento, se presentan los insumos necesarios del modelo agrupados en cada una de dichas etapas.

Los detalles y procedimientos que se darán pueden ser sustituidos por otros métodos para generar los incentivos, siempre y cuando cumplan con las normas y especificaciones que se detallan en esta investigación y cumplan con la reglamentación nacional. El enfoque que se dará, responde a los equipos disponibles actualmente en LanammeUCR, ya que como se mencionó anteriormente, es el ente encargado de realizar las evaluaciones de la RVNP en Costa Rica por ley.

3.1. Insumos para Delimitación

Inicialmente, se debe tener claro el alcance de la evaluación, por lo que se debe conocer, definir o realizar las mediciones en sitio de algunas características de la ruta y del pavimento. A continuación, se enlistan las características específicas necesarias:

- Localización: provincia y ruta nacional a la que pertenece.
- Ubicación: coordenadas geográficas y estacionamientos de inicio y fin de la ruta.
- Singularidades: coordenadas geográficas y estacionamientos de inicio y fin de puentes, pasos a desnivel, rotondas, cruces de línea férrea, entre otras.
- Características del pavimento: longitud y ancho de losas, ancho de juntas, cantidad de carriles y longitud de la ruta.

Las herramientas de localización geográfica son de gran ayuda para obtener muchas de las características recién mencionadas, por lo que se puede hacer uso de software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés)

o trabajos de levantamiento en sitio. Los métodos de ubicación deben ser confiables y los puntos de referencia deben ser posteriormente ubicables en caso de requerirse.

3.2. Insumos para Tramificación Homogénea

El resultado meta para definir la tramificación homogénea, involucra al método de diferencias acumuladas aplicado a los indicadores IRI y FLT para la totalidad de la ruta que se desea evaluar. Ambos indicadores, se calculan a partir del perfil superficial longitudinal de regularidad de la carretera, que puede ser obtenido mediante el uso del perfilómetro láser inercial, como el mostrado en la Figura 5, correspondiente al equipo con el que cuenta LanammeUCR.



Figura 5. Perfilómetro láser propiedad de LanammeUCR

Fuente: (Elizondo, F & Rojas, M, 2019)

El perfilómetro de LanammeUCR, es marca *Dynatest*, modelo 5051 Mark IV (LanammeUCR, 2013c), y se clasifica como Clase 1 según la norma ASTM - E950, ya que tiene la capacidad de realizar muestreo longitudinal de 25 mm o menos, y la resolución de medida vertical es de 0,1 mm o menos. Los rangos de clasificación para este tipo de equipos se presentan en el Anexo A.

El procedimiento de toma de datos con el perfilómetro laser inercial se basa en las siguientes normas:

1. **ASTM E950:** *Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer-Established Inertial Profiling Reference.*
2. **ASTM E1170:** *Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces.*
3. **AASHTO R 36-17:** *Standard Practice for Evaluating Faulting of Concrete Pavements.*

Para realizar la toma de datos con el equipo especializado de ambos perfiles longitudinales, para IRI y FLT, de manera simultánea, se deben seguir las pautas dadas en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Pautas para la toma de datos con el perfilómetro inercial

Especificaciones del ensayo	Consideraciones y Condiciones
<ul style="list-style-type: none"> • Punto de inicio y fin del ensayo mediante coordenadas geográficas y estacionamientos en la ruta nacional. • Velocidad de tránsito de prueba, entre 25 km/h y 120 km/h, según velocidad de circulación de la vía. • Registrar durante la evaluación el paso sobre singularidades. • Muestreo longitudinal de 25 mm para FLT. • Distancia longitudinal de 100 m para IRI. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se debe realizar el ensayo mientras llueve. • Mantener la velocidad constante durante la toma de datos y evitar frenados bruscos. • Iniciar la toma de datos al menos 150 m antes del punto de inicio de evaluación. • No se permitirá el filtrado digital durante el tratamiento posterior de los datos para mejorar la precisión del muestreo de longitud.

Con la aplicación de los parámetros definidos, y tras probar el adecuado funcionamiento del perfilómetro y los GPS, se procede a realizar el recorrido sobre la carretera para la toma de datos de regularidad superficial y escalonamiento transversal en las juntas. El equipo registrará las variables necesarias, y no se requiere ningún ensayo adicional.

Posteriormente, se extraen los datos del equipo de evaluación, y se debe asignar el correspondiente estacionamiento sobre la ruta, y luego identificar cuales datos corresponden a mediciones sobre las singularidades mayores, valores que se descartarán o al menos se identifican para la posterior aplicación del método de diferencias acumuladas.

En el caso del cálculo de FLT, primero se deben filtrar los valores obtenidos a solo aquellos presentes en las juntas (descartar escalonamiento en las grietas), y con estos datos, obtener una envolvente de escalonamiento, ya que el equipo toma los datos de cada huella, esto se realiza para cada estacionamiento donde se registró el deterioro en cuestión; además se deben filtrar los valores del indicador, para que únicamente contemple escalonamientos mayores a 3 mm.

En cuanto al IRI, a partir del perfil longitudinal, se calcula el MRI, que corresponde al promedio de los valores de IRI en cada huella para cada estacionamiento.

Se recomienda graficar los indicadores contra el estacionamiento, para verificar de manera visual, anomalías en los datos obtenidos de la evaluación. En caso de ver un comportamiento anormal en las gráficas, verificar que no se deba a fallos en la medición o de manipulación de la base de datos, ya que por el nivel de detalle en los espaciamentos milimétricos se espera tener una gran cantidad de valores. A los valores de IRI y FLT, estacionados para toda la ruta evaluada, les llamaremos subperfiles, y serán de suma importancia para conocer cuál es el comportamiento a lo largo de la carretera a partir del perfil longitudinal sobre las huellas.

Por su parte, se define un **sector** como un tramo continuo de carretera separado por singularidades mayores o puntos de inicio y fin de la vía. A partir de esta definición, el descarte de datos de singularidades mayores, se da por la decisión de fragmentar una ruta en sectores, dejando de lado las estructuras que no son pavimentos para su respectiva valoración con un método adecuado de análisis.

Con los datos mencionados hasta el momento se tiene suficiente información para obtener:

1. Listados de sectores con su longitud y sus estacionamientos de inicio y fin.
2. Cuatro subperfiles del pavimento: uno por sentido para FLT y uno por sentido para IRI.

3.3. Insumos para Calificación Técnica General

Para la generación de estos insumos, se debe haber cumplido satisfactoriamente la segunda etapa del modelo (la cual se detalla en el siguiente capítulo), lo que implica contar con el listado de los tramos homogéneos de la ruta evaluada para poder llevar a cabo la Calificación Técnica General, y asignar el valor representativo de IRI y FLT a cada tramo homogéneo.

Con los valores de IRI, se debe calcular el valor acumulado de este indicador cada 100 m tomando en cuenta los fraccionamientos por tramificación homogénea; se descartarán los valores medidos sobre cualquier singularidad y los 40 m posteriores al punto final de cada una. Luego, para cada uno de los tramos homogéneos, reportar el valor promedio de todos los segmentos de 100 m pertenecientes a un mismo tramo.

En cuanto a los valores de FLT, se deben descartar los datos obtenidos dentro de cualquier singularidad, incluidos los valores de escalonamiento de las juntas de entrada y salida a puentes. Reportar el valor de FLT promedio para cada tramo homogéneo.

Con lo descrito, para dar por concluida esta etapa se debe tener una lista con el valor representativo de FLT e IRI para cada tramo homogéneo.

3.4. Insumos para Análisis Específico

La etapa de Análisis Específico requiere del estudio de la condición estructural del pavimento con un mayor grado de detalle, y para esto, el primer paso es realizar un levantamiento de deterioros superficiales, seguido de ensayos y calificación de los indicadores LTE y PVD.

3.4.1. Levantamiento de deterioros superficiales específicos

El levantamiento de deterioros se realiza mediante el uso del equipo Geo 3D, que es capaz de realizar capturas fotográficas con una alta definición a 360° de amplitud visual y referenciadas espacialmente. “Estas imágenes abarcan el frente y los lados del vehículo, y tres restantes sobre la superficie del pavimento en la parte posterior, para un total de 6 cámaras que proporcionan una base de datos de información visual detallada” (LanammeUCR, 2013d).

El Geo 3D propiedad de LanammeUCR corresponde al modelo MX-1 de la marca Trimble y está equipado con 6 cámaras de alta resolución, GPS, unidad de medición inercial (IMU), unidad de medición de distancias (DMI) y tres servidores *WorkStation* de gran capacidad. (LanammeUCR, 2013d). En la Figura 6 se muestra el equipo mencionado.

En cuanto a las especificaciones para realizar el ensayo, no se cuenta con una norma definida, únicamente se debe realizar el recorrido sobre cada carril a la velocidad de tránsito definida para la carretera, realizando las capturas cada 2 m (distancia redondeada equivalente al menos a la mitad de longitud de la losa). Se recomienda circular el vehículo con el equipo encendido de 15 minutos a 30 minutos antes de llegar a la zona de estudio, e iniciar la toma de datos unos 150 m antes del punto de inicio del tramo a evaluar.



Figura 6. Equipo de auscultación visual Geo 3D, propiedad de LanammeUCR

Fuente: (Elizondo, F & Rojas, M, 2019)

Tras realizar el levantamiento de datos, se procede a extraerlos del equipo, y con la ayuda del programa informático *Trimble Trident Software* se realiza la identificación de al menos los deterioros superficiales que se muestran a continuación y se exportan los datos para conformar una base de datos.

Cuadro 8. Deterioros a identificar para Análisis Específico

TIPO DE DETERIORO	DESCRIPCIÓN
GRIETAS	Agrietamiento Lineal Grieta de Esquina Losa Dividida
JUNTAS	Fractura de Esquina Fractura de Junta
MISCELANEOS	Voladura (<i>Blow up</i>) Escalonamiento entre calzada-juntas Bombeo Punzonamiento

Luego, se asigna a cada tramo homogéneo sus respectivos deterioros recién identificados, y se especifica claramente el respectivo estacionamiento y coordenadas geográficas. Este será el insumo final para iniciar la etapa de Análisis Específico del modelo de evaluación de pavimentos rígidos.

3.4.2. Toma de datos de LTE y PVD

Los ensayos para LTE Y PVD, se realizan con el deflectómetro de impacto (FWD por sus siglas en inglés), y se basan en la obtención de las deflexiones en diferentes puntos de la losa tras la caída controlada de un peso determinado. En la Figura 7 se muestra un FWD *Dynatest* modelo 8002 FWD, que cuenta con nueve geófonos que se pueden distribuir sobre un eje de 1,8 m de longitud, un DMI, plato de carga y pesas para la configuración de carga (el rango de carga aplicado que permite el equipo es de 7 kN a 120 kN) (LanammeUCR, 2013a).



Figura 7. Deflectómetro de Impacto propiedad de LanammeUCR

Fuente: (Elizondo, F & Rojas, M, 2019)

Los ensayos con el FWD se basan en las siguientes normas ASTM:

1. **D4694-09:** *Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device.*
2. **D4695-03:** *Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements*

En cuanto a la configuración física de equipo se recomienda utilizar la distribución de los geófonos mostrada en la Figura 8, de esta manera, se podrá evaluar tanto LTE como PVD sin reubicar ninguno de los sensores. Se denota D0 como el sensor de deflexión ubicado bajo el plato de carga, y las dimensiones del resto de geófonos se dan relativas a este.

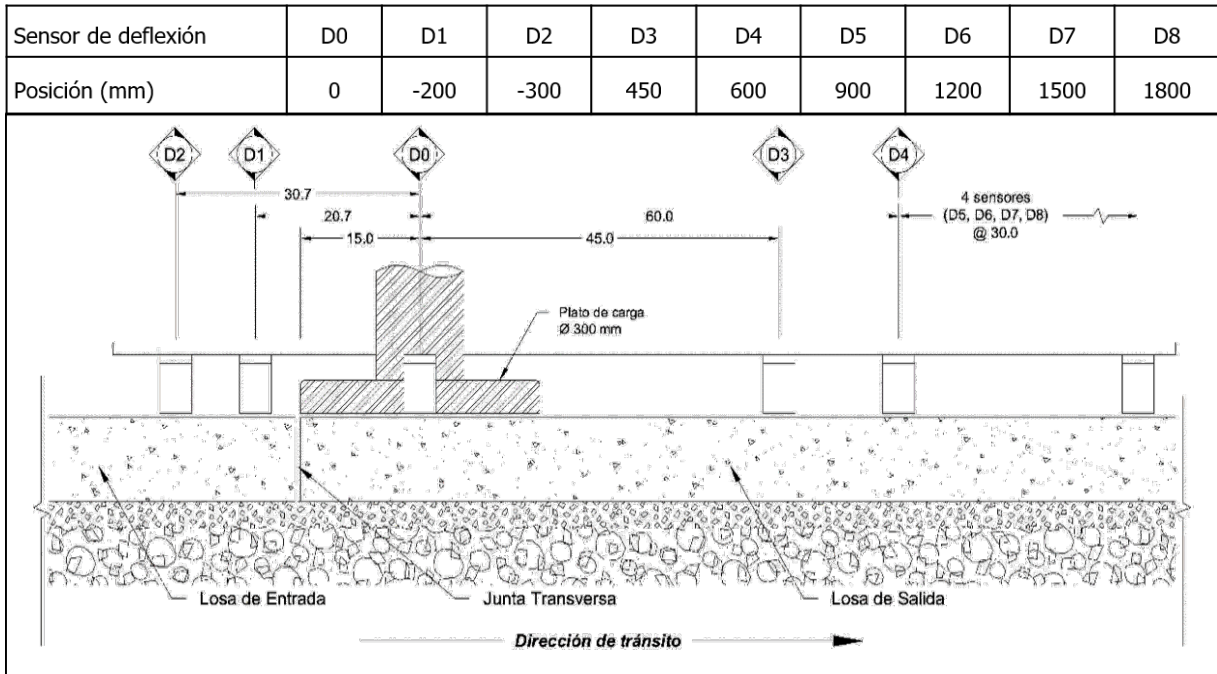


Figura 8. Configuración física del FWD para LTE y PVD

En cuanto a la ubicación del FWD en la losa, dependerá del indicador que se desee estudiar en cada punto; para LTE se debe evaluar en la junta sobre la huella (a 76 cm del borde longitudinal), mientras que para PVD se realiza el ensayo con el plato de carga en la esquina exterior de la losa a cada lado de la junta. La Figura 9 se detalla y aclaran las ubicaciones descritas, el círculo achurado con líneas diagonales representa el plato de carga de 300 mm del FWD.

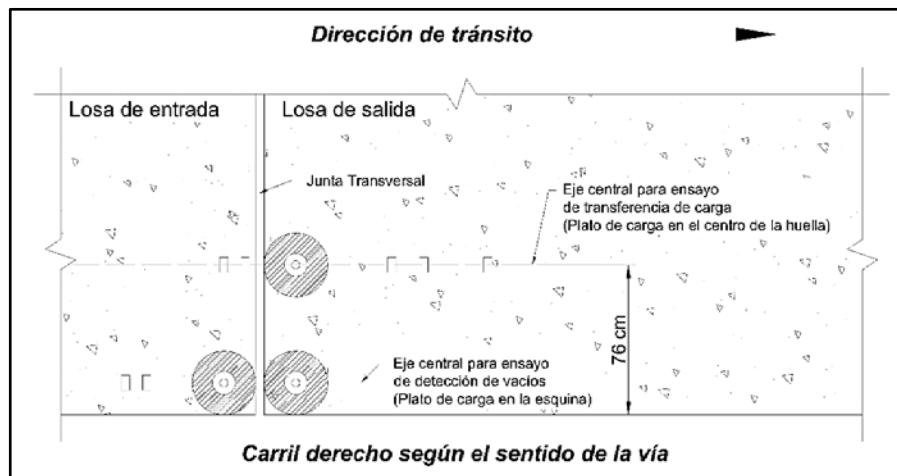


Figura 9. Ubicación del plato de carga del FWD para LTE y PVD

Además, se deben seguir las recomendaciones de calibración del equipo antes de realizar ensayos para asegurar el nivel de rendimiento necesario. Un resumen de estas comprobaciones se da según LanammeUCR (2013a) en la ficha técnica del equipo FWD:

Ajuste Relativo de Deflexión: el siguiente procedimiento se usará para ajustar las mediciones de deflexión de cada sensor de deflexión para que éstos produzcan la misma medición de deflexión. Se realiza con el software según procedimiento del fabricante.

- Comprobación del Transductor de distancia longitudinal (DMI).

- Comprobación del Sensor de Temperatura Infrarrojo de Superficie: el programa FWDwin provee un procedimiento automatizado para la comprobación de los números de verificación del sensor de temperatura infrarrojo de superficie en dos puntos. La comprobación de un sensor infrarrojo no es una tarea simple, por lo que el fabricante recomienda solicitarles este servicio para una mayor precisión.

- Comprobación del Sensor de Temperatura Ambiente: el programa FWDwin provee un procedimiento automatizado para la comprobación de los números de verificación del sensor de temperatura ambiente en dos puntos. Para que el usuario lleve a cabo los dos puntos del procedimiento de comprobación, se requerirá uno o dos baños maría. Se recomienda que lo realice el Fabricante.

- Celda de Carga: en este caso sólo el fabricante realiza la calibración o comprobación de la celda de carga. (vienen al país cuando lo requerimos y hacemos la calibración de los geófonos y de la celda de carga con el de ellos).

Además, junto con la calibración del equipo se deben realizar dos caídas para asentamiento y posteriormente antes de un ensayo, y adicionalmente el adecuado calentamiento del *buffer* sin almacenamiento de datos. Adicionalmente, para evaluar LTE y PVD, se definen a continuación las especificaciones para la toma de datos según el indicador de calificación.

Consideraciones para evaluar transferencia de carga

Para cuantificar la eficiencia en la transferencia de carga, se requiere principalmente de dos sensores de deflexión equidistantes respecto a la junta evaluada (D0 y D1), y uno de los sensores se encuentra en el punto de aplicación de la carga (D0).

- Carga de ensayo: 40,0 kN \pm 4,0 kN
- Cantidad de caídas: 2 caídas en cada junta estudiada.
- Temperatura máxima: 30 °C en la superficie de la losa a evaluar.
- Posición del deflectómetro: huella externa de la losa solicitada, a 76 cm del borde de las losas, con D0 en el borde de la losa de salida.
- Reportar para cada medición todos los sensores, con su respectivo estacionamiento, carga aplicada, ubicación GPS, temperaturas del ambiente y de la superficie del pavimento.

Consideraciones para evaluar vacíos bajo la losa

Para detectar el potencial de vacíos, se requiere únicamente de un sensor ubicado en el punto de aplicación de la carga (D0).

- Cargas de ensayo: 40,0 kN, 53,4 kN y 71,2 kN (con tolerancia de \pm 4,0 kN).
- Cantidad de caídas: 2 caídas por cada carga en cada junta estudiada.
- Posición del deflectómetro: D0 en la esquina exterior de la losa solicitada.
- Reportar al menos la medición del sensor D0 para cada carga, con su respectivo estacionamiento, cargas aplicada, ubicación GPS, temperaturas del ambiente y de la superficie del pavimento.

Una vez aclaradas estas pautas, y con la identificación de los tramos homogéneos candidatos a Análisis Específico, se procede con la programación de los ensayos. Se recomienda realizar los ensayos de noche, cuando ya la temperatura del pavimento ha bajado, de esta manera se evita el alabeo por temperatura que sesgaría los valores de deflexión obtenidos.

Mientras se ejecutan los ensayos, el equipo almacenará cada uno de los datos anteriormente mencionados. Se recomienda anotar puntos de referencia y peculiaridades encontradas para un posterior análisis y consideración de situaciones que ayuden a descartar mediciones o ubicarlas para posteriores revisiones.

Una vez finalizada la campaña de evaluación, se exportan las mediciones y se conforma una base de datos para el post-procesamiento. Al analizar la base de datos, se deben verificar las especificaciones dadas anteriormente, sobre todo las de temperatura, carga y ubicación. Con la base de datos depurada y geográficamente ubicada, se calculan los valores de los indicadores.

En el caso de LTE se realiza la comprobación adicional de las deflexiones, ya que conforme nos alejamos del punto de aplicación de carga, deben reducirse los valores de deflexión, formando un cuenco de deflexiones suavizado con su punto de deflexión máximo bajo D0; para las mediciones en las que no se cumpla esta condición, no se asegura un LTE representativo, por lo que es mejor descartar ese punto del análisis.

Se calcula la eficiencia de transferencia de carga según lo expuesto en el apartado 2.1.1. Eficiencia de Transferencia de Carga: LTE, con la siguiente ecuación, donde se define d_u como la deflexión en la losa descargada y d_l como la deflexión en la losa cargada.

$$LTE = \frac{d_u}{d_l} \times 100\%$$

Para determinar PVD basta con utilizar los valores obtenidos de D0 con cada una de las cargas de ensayo, y como se mencionó en el apartado 2.1.2. Detección Potencial de Vacíos: PVD, graficar puntos de carga contra deflexión y posteriormente proyectar hacia atrás la línea de tendencia lineal, hasta encontrar la deflexión bajo la condición de carga nula, este valor será el correspondiente al indicador PVD. Un modelo recomendado para obtener la ecuación de ajuste lineal a partir de tres puntos se muestra en el Anexo B.

En ambos análisis, LTE y PVD, los valores calculados para cada punto identificado y estacionado, será el correspondiente insumo para ejecutar la cuarta etapa del modelo de evaluación.

3.5. Insumos para Evaluación Complementaria

La etapa de Evaluación Complementaria se compone de dos evaluaciones, una obligatoria de GRIP, y una opcional de PCI.

3.5.1. Ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento

Para determinar el coeficiente de fricción de una superficie de ruedo se hace uso del equipo de medición continua denominado *Grip Tester*, como el mostrado en la Figura 10, que corresponde a un equipo GT-333 marca Findlay Irvine, con las siguientes características: bloqueo de neumático del 15%, simula condición crítica de tránsito con una película constante de agua, capacidad de tránsito a velocidades desde 5 km/h hasta 130 km/h y equipado con DMI (LanammeUCR, 2013b).

La norma de referencia para este equipo es la **BS 7941-2: *Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces. Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device.***



Figura 10. Grip tester propiedad de LanammeUCR

Fuente: (Elizondo, F & Rojas, M, 2019)

Una de las limitantes que presenta el análisis por GRIP, es que se debe contar con una carretera que presente valores de IRI por tramo menores a 4 m/km para poder evaluarla, por lo que se deberá filtrar cuales tramos homogéneos se pueden evaluar según esta condición de IRI.

En los tramos que cumplen con este primer filtro, se ejecutará el ensayo a una velocidad promedio de 50 km/h, con una rueda parcialmente bloqueada en dirección de la trayectoria seguida y con una película de agua constante al frente de la rueda; el intervalo para el cálculo del GN será de 5 m.

Antes de iniciar la evaluación, se debe verificar el estado y funcionamiento de todos los accesorios del equipo, como la reserva de agua, el GPS, la computadora y el sistema en general. Además, LanammeUCR (s.f.) establece en la guía de ensayos el siguiente procedimiento para el inicio de la prueba:

Ubicarse por lo menos 500 metros del punto de inicio del tramo de evaluación. Realizar el purgado de la bomba de agua. Arrancar el vehículo remolcador y alcanzar la velocidad de medición, cuando se llegue al punto de inicio del tramo de evaluación, indicar al equipo el inicio de adquisición de datos. Recolectar los datos de la evaluación, verificando el cumplimiento de la velocidad de medición y flujo de agua. En los casos que corresponda, durante el ensayo, se le puede indicar a la computadora las irregularidades o particularidades del tramo evaluado. Indicar el final del tramo de evaluación y verificar los datos almacenados. (LanammeUCR, s.f.).

Durante el recorrido, “el equipo calcula directamente la fuerza de arrastre ejercida sobre ésta y obtiene el gripnumber o medición de rozamiento” (LanammeUCR, 2013b). Estos datos además estarán georreferenciados y una vez terminada la evaluación, se procederá a exportar la base de datos del equipo para procesar los resultados y obtener los promedios por tramo homogéneo.

3.5.2. Levantamiento de deterioros para PCI

El levantamiento de los deterioros se realiza con ayuda del equipo de auscultación visual, tal y como se explicó en el apartado 3.4.1. Levantamiento de deterioros superficiales específicos, con la única diferencia de que se deben considerar todos los deterioros descritos en el MAV-2016 (ver apartado 2.2.3. Índice de Condición del Pavimento: PCI).

Además, la identificación de los deterioros se realiza para las unidades de muestreo, según se definan para la ruta en evaluación. Se deben seguir todos los lineamientos planteados en el MAV-2016 tanto para definir las unidades de muestreo, como para el cálculo de PCI; el siguiente diagrama resume el procedimiento de lo estipulado en dicho documento. En el Anexo C, se pueden consultar los diagramas resumen para los cálculos de PCI.

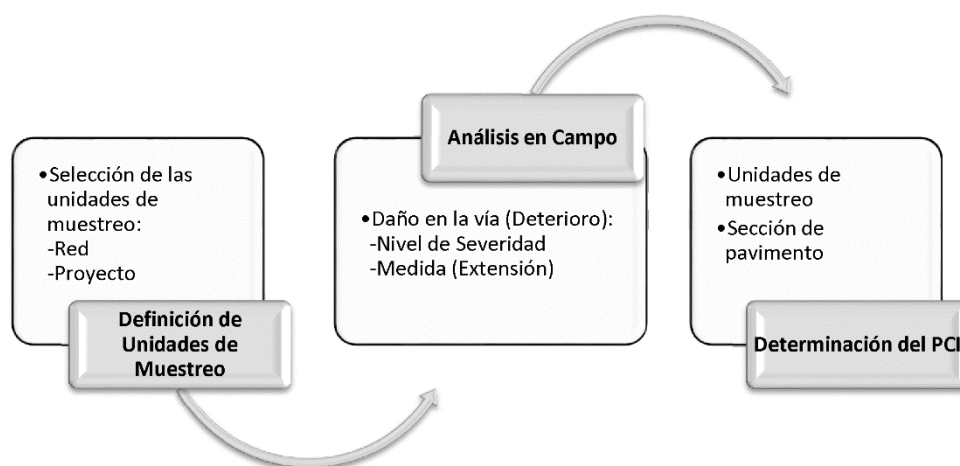


Figura 11. Esquema resumen de proceso de cálculo de PCI

Fuente: (MOPT, 2016)

3.6. Insumos para Recomendaciones de Intervención

En la etapa de Recomendaciones de Intervención, se utiliza la lista de los tramos homogéneos con sus estacionamientos, y los siguientes resultados que se obtienen de las diferentes etapas del modelo de evaluación:

- Calificación general o Nota de Calidad QR
- Calificación por Análisis específico, si fue necesario.
- Calificación por Evaluación Complementaria

--- página en blanco ---

CAPÍTULO IV. MODELO PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

El modelo diseñado que se explicará en este capítulo, cuenta con seis etapas generales para determinar de manera sistemática, objetiva y reproducible, la condición técnica de pavimentos rígidos en servicio mediante la combinación de indicadores. Las secciones propuestas se presentan en la siguiente figura.



Figura 12. Diagrama del modelo para evaluación de pavimentos rígidos

A continuación, se presentan los detalles a considerar en cada sección del modelo para aplicar los postulados teóricos antes expuestos (ver capítulo anterior), y así garantizar la uniformidad de ejecución en las evaluaciones de pavimentos rígidos según el modelo propuesto.

En el desarrollo de este capítulo, se tomarán datos y gráficos correspondientes a la evaluación de la Ruta Nacional 1 entre Cañas y Liberia, para ejemplificar parte del proceso de aplicación del modelo de evaluación.

4.1. Delimitación

Inicialmente, se debe ubicar la vía a evaluar con sus respectivas coordenadas de inicio y fin, así como el estacionamiento ligado a la ruta de la cual es parte. Estos valores deberán utilizarse como referencia absoluta para todo el posterior procesamiento de cualquier indicador o ensayo, y de esta manera evitar confusiones de referenciación.

Adicionalmente, y bajo las mismas condiciones expuestas para la ubicación de la vía, se deben identificar cada uno de las singularidades que se consideren importantes (puentes, pasos a desnivel, rotondas, cruces de vías férreas, entre otras).

Además, se deben conocer las dimensiones promedio de las losas y juntas transversales.

Se recomienda generar un mapa de localización y ubicación geográfica con los respectivos rótulos de identificación, y un listado de singularidades con sus respectivos estacionamientos en la ruta.

El resultado de esta etapa ayudará a ir conformando y actualizando un posible inventario vial, por lo cual se recomienda ampliar la información disponible para el proyecto, aunque no sea indispensable, como por ejemplo el año de construcción, año de apertura o entrega, costo de la obra, responsable de intervenciones, clima de la zona, tránsito promedio diario, entre otras.

En caso de que sean evaluaciones periódicas, se recomienda realizar cada vez, una revisión de las propiedades de la carretera, aunque ya se tengan identificadas como parte de evaluaciones anteriores, de esta manera se actualiza la información generada para describir y categorizar el tramo evaluado de la RVNP.

4.2. Tramificación Homogénea

La definición de los fraccionamientos para caracterizar una ruta, debe estar basada en parámetros objetivos que además sean estadísticamente representativos en comportamiento y longitud. Con el objetivo de estandarizar la división de una ruta se plantea en este apartado una metodología a seguir.

Inicialmente, se define un criterio de seccionamiento de la ruta con las singularidades mayores antes identificadas en la ruta. Esta división de tramos se realiza por la existencia de una

estructura de atención diferente a la carretera y que debe ser evaluada por otros medios, y que, además posee una longitud considerable, como por ejemplo un paso a desnivel, un puente largo, una sección de pavimento asfáltico, entre otros. Cada uno de estos segmentos de la ruta, se denominarán **sectores**, y su identificación será fundamental para comprobar la longitud final de cada tramo homogéneo. En la Figura 13 se ejemplifica este concepto, las singularidades se ven representadas con espacios vacíos entre las líneas continuas anaranjadas, que representan los sectores.

Una vez ubicadas las singularidades mayores, se definen segmentos en medio de los sectores, que sean adoptados como unidades mínimas de análisis, estas secciones de ruta se denominan **tramos homogéneos**, y para determinarlos, se recomienda realizar el fraccionamiento de una ruta por medio del método de diferencias acumuladas, ya que se basa en indicadores de condición técnica del pavimento.

El principal incentivo para realizar la tramificación homogénea, es el perfil longitudinal de la ruta a seccionar, específicamente los datos de Índice de Regularidad Internacional promedio (MRI o promedio de IRI) y valores envolventes de escalonamiento de las juntas transversales (*Faulting*, FLT). Los valores medidos deben estar debidamente identificados mediante coordenadas o estacionados en la ruta, tal y como se mencionó en el capítulo anterior para la obtención de los subperfiles, (ver apartado 3.2).

Tras analizar los perfiles longitudinales, se procede a aplicar el método de diferencias acumuladas, tal y como se muestra en el Anexo D, a cada uno de los indicadores (IRI y FLT) en cada sentido (r: *reverse* y f: *forward*), es decir, se obtienen cuatro gráficas para cada ruta en análisis, con los valores de estacionamiento como abscisas y los valores Z_x en las ordenadas.

Luego, para cada una de las gráficas obtenidas, se deben identificar las tendencias (comportamiento ascendente o descendente) de las diferencias acumuladas del indicador analizado, es decir, encontrar los cambios de pendiente en las líneas de ajuste, con lo cual se localiza el inicio y fin de cada tramo homogéneo, como se observa con líneas punteadas color rojo en la Figura 13.

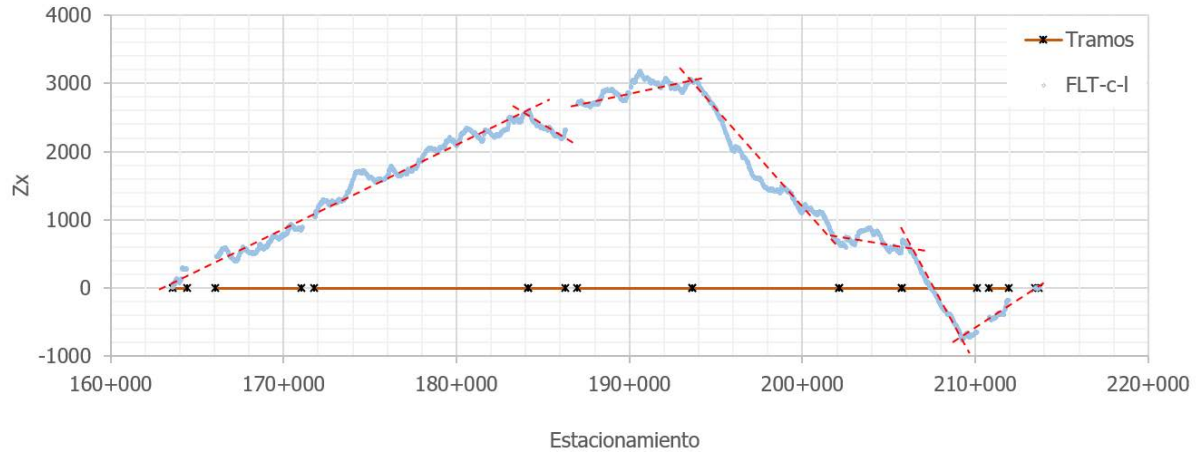


Figura 13. Ejemplo de tramificación homogéneos a partir de diferencias acumuladas

Seguidamente, se recomienda realizar una representación esquemática de la ubicación de las singularidades junto con los tramos encontrados en las cuatro gráficas mencionadas, como se muestra en la Figura 14, esto con la finalidad de agrupar los tramos de manera secuencial en una sola recta que represente los estacionamientos. En la misma figura, se puede ver que se realiza una marca sobre cada barra roja, según los segmentos establecidos en las barras verdes y azules, que corresponden a la tramificación por FLT y por IRI respectivamente. Cabe aclarar que se muestran las barras agrupadas y etiquetadas según el sentido de la vía, pero con el estacionamiento en el sentido de avance de Cañas hacia Liberia (*forward*) para hacer coincidir la ubicación geográfica sin importar el sentido de avance en la ruta.

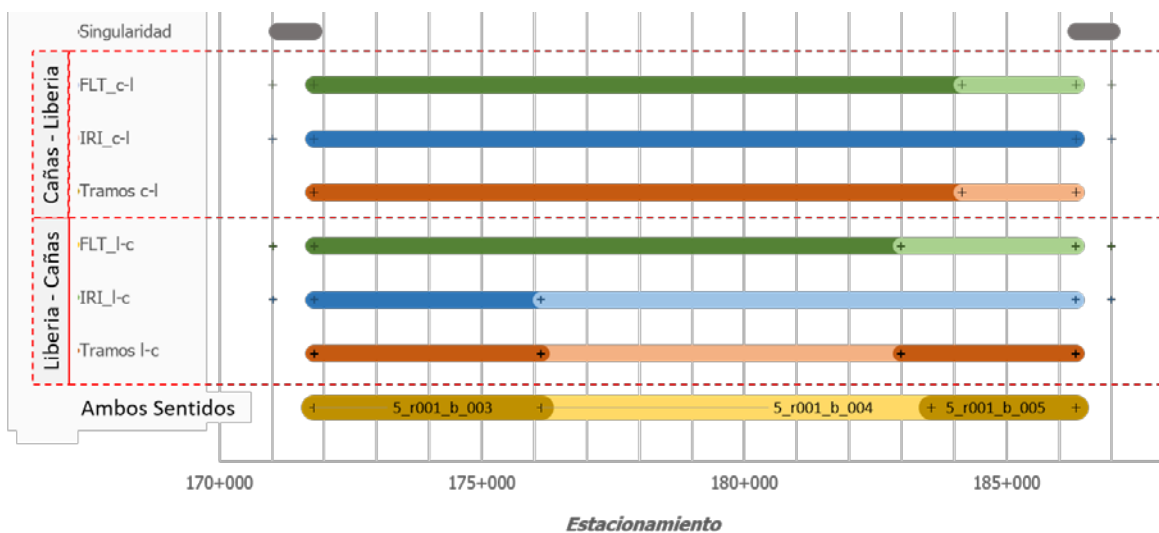


Figura 14. Ejemplo de detalle de superposición de tramos homogéneos

Una vez definidos los tramos por sentido a partir de ambos indicadores (FLT e IRI) se debe revisar que la longitud de cada tramo homogéneo sea al menos la mínima que se establece para cada sector, de lo contrario, se debe reasignar la longitud, y para ello, se reparte de manera equitativa la longitud del tramo que no cumple, entre los tramos anterior y posterior. La determinación de la longitud mínima para un tramo homogéneo se basa en lo establecido en el MAV-2016 para el cálculo de longitud de UM; a continuación, se resumen los pasos a seguir para determinar la longitud mínima para cada sector, entre corchetes ({}) se mostrará el nombre asignado a la variable.

1. {Sector}: nombre o identificador de carretera entre singularidades mayores.
2. {long_m}: longitud en metros del sector.
3. {divisiones}: fragmentador para el sector, inicialmente utilizar {divisiones} = 1.
4. {L_tramo}: longitud del tramo, $\{L_tramo\} = \{long_m\} / \{divisiones\}$.
5. {losas}: Definir la Longitud de la Unidad de Muestreo, valores de 20 ± 8 losas.
6. {L_losa}: Longitud promedio de losas en la carretera evaluada, en metros.
7. {L-UM}: Longitud de la unidad de muestreo, $\{L_UM\} = \{losas\} \times \{L_losa\}$.
8. {N}: Número Total de Unidades de Muestra, $\{N\} = \{L_Tramo\} / \{L_UM\}$.
9. {s}: Desviación estándar inicial. $\{s\} = 15$.
10. {e}: Error porcentual admisible en el estimado de PCI. $\{e\} = 5$.
11. {n}: Número mínimo de unidades a evaluar. $\{n\} = \lceil \frac{\{N\} \times \{s\}^2}{\{e\}^2/4 \times (\{N\}-1) + \{s\}^2} \rceil$.
12. {n_rev}: Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección, se deben verificar las siguientes condiciones:
 - a. Si $n < 5$, se deberán evaluar todas las unidades
 - b. Si $N > 100$, se deberán crear x cantidad de tramos con valores de $N \leq 100$, en donde, para cada tramo se asignará un N_1, N_2, \dots, N_x . Además, para cada tramo se deberá calcular el número mínimo de unidades a evaluar, n_1, n_2, \dots, n_x , según la ecuación 2.2, para una muestra mínima total de $n_t = n_1 + n_2 + \dots + n_x$ (Ver

apartado 2.8 Ejemplo b). Quedará a criterio del profesional responsable de este cálculo el dividir en 2, 3, 4, entre otras. partes el N (De acuerdo con el valor obtenido del mismo, el cual puede ser muy grande si es una ruta con una gran extensión en kilómetros). Ejemplo, si se contara con 120 UM se puede considerar evaluar 60 y 60, o 70 y 50, o bien en tres grupos de 40, entre otros.

13. En caso de no cumplir con las condiciones del punto 12, iterar cambiando {divisiones} hasta cumplir con lo establecido en 12.

14. {L_min_m}: Longitud mínima para un tramo homogéneo de un sector.

$$\{L_{min_m}\} = \{n_{rev}\} \times \{L_{UM}\}$$

Finalmente, si se considera pertinente, se pueden unificar los tramos homogéneos de ambos sentidos, realizando el proceso como se explicó anteriormente para indicadores, y revisando que cada nuevo tramo definido cumpla la longitud mínima en cada sector correspondiente. Esto se ejemplificó en la Figura 14, donde se unen los tramos de las barras rojas y se da como resultado la barra dorada identificada con la etiqueta "Ambos Sentidos".

La decisión de unificar los sentidos de la ruta quedará a criterio del evaluador, se recomienda para tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Similitud en el comportamiento de los indicadores tras analizar los perfiles longitudinales
- Unificación estratégica por futura intervención o adjudicación de mantenimiento
- Similitud de distribución de tramos homogéneos en la ruta
- La ruta es de dos sentidos conformados por la misma estructura sin separación física

Una vez definido cada uno de los aspectos mencionados en este apartado, se recomienda codificar o nombrar cada tramo homogéneo, con la finalidad de dar uniformidad en un inventario de la red vial. Para esto se define la siguiente estructura:

[# provincia]_r[# de ruta]_[sentido]_[# tramo]

Donde: el número de provincia es de un dígito; el número de ruta de tres dígitos; el sentido es la inicial de *forward* (alejándose del centro de la capital), *reverse* (acercándose al centro de la

capital) o *both* (sentidos unificados); y el número de tramo es el consecutivo de los tramos definidos en el sentido f. Un ejemplo es el mostrado en la Figura 14:

5_r001_b_003

El código anterior denota al tercer tramo homogéneo ubicado en la provincia cinco de Costa Rica, es decir Guanacaste, sobre la Ruta Nacional 1, unificado en ambos sentidos.

Como resultado final de este apartado, se deberá generar una lista georreferenciada de tramos homogéneos codificados y estacionados en la ruta.

Los tramos homogéneos podrían variar con el tiempo, sin embargo, se recomienda aplicar la metodología descrita en la primera evaluación que se ejecute y en evaluaciones consecutivas mantener la misma división, ya que de esta manera se podrán realizar análisis comparativos entre las diferentes campañas de evaluación. Sin embargo, no se descarta redefinir o validar los tramos homogéneos después de una cantidad de tiempo definida por el evaluador o por la administración.

4.3. Calificación Técnica General

En esta etapa del modelo se asignará una calificación general para el pavimento rígido en evaluación, a la cual se le asocia una actividad de conservación. La asignación de esta calificación, que se denomina **Nota QR**, depende del valor individual representativo para cada tramo homogéneo de los indicadores IRI y FLT. El Cuadro 9 muestra la relación entre las notas QR y las actividades de intervención aplicables.

Cuadro 9. Actividades de conservación vial asociadas a cada Nota QR

Nota QR	Actividad de intervención
QR1 →	MR: Mantenimiento Rutinario
QR2 →	MP: Mantenimiento Periódico
QR3 →	Rm: Rehabilitación Menor
QR4 →	RM: Rehabilitación Mayor
QR5 →	R: Reconstrucción

En la Figura 14 se muestra la matriz para asignación de Nota QR, para utilizarla, basta con identificar para cada tramo homogéneo en que fila se encuentra la nota o rango del componente funcional (IRI en m/km) , y en cuál columna se representa su condición estructural (FLT en mm), luego trazar una línea horizontal y una vertical respectivamente; el punto de intersección de estas líneas asigna la Nota QR según el recuadro en el que se encuentra.

En aquellos casos en los cuales la condición estructural sea deficiente, y por lo tanto se obtenga una nota **QR4** o **QR5**, se debe proceder a realizar **Análisis Específico**, tal y como se explica en el siguiente apartado.

Nota QR	Componente Estructural: FLT (mm)				
	Nota: Rango	MB: [0,0 ; 3,0]	B:]3,0 ; 10,0]	M:]10,0 ; 20,0]	MM: > 20,0
Componente Funcional: IRI (m/km)	MB: [0,0 ; 1,4]	QR1: MR		QR4: RM **	
	B:]1,4 ; 2,3]				
	R:]2,3 ; 3,6]	QR2: MP			
	M:]3,6 ; 6,0]	QR3: Rm		QR5: R **	
	MM: > 6,0				

**** Análisis Específico:** Identificación de deterioros, LTE y PVD
Notas: Muy Buena (MB), Buena (B), Regular (R), Mala (M), Muy Mala (MM)
Actividades: Mantenimiento Rutinario (MR), Mantenimiento Periódico (MP), Rehabilitación Menor (Rm), Rehabilitación Mayor (RM), Reconstrucción (R).

Figura 15. Matriz de calificación técnica general para pavimentos rígidos: Nota QR

4.4. Análisis Específico

Como se mencionó anteriormente, en los casos en los cuales se detectan valores promedio de FLT mayores a 10 mm para un tramo homogéneo, se debe realizar un levantamiento de deterioros superficiales, con la finalidad de detectar dónde se localizan los problemas que se pueden asociar con deficiencias en transferencia de carga o potencial de vacíos bajo la losa.

Los tramos identificados, se someten a ensayos de LTE y PVD según el apartado 3.4. Insumos para Análisis Específico, y se califican según su condición técnica estructural.

4.4.1. Levantamiento de deterioros e identificación de causas estructurales

Cabe aclarar que, para esta sección del modelo de calificación, el levantamiento de deterioros puede hacerse únicamente para aquellos que tengan como causa asociada las deficiencias de transferencia de carga o presenten vacíos bajo la losa. El Cuadro 10 muestra la lista de deterioros superficiales en pavimentos rígidos según el MAV-2016 agrupados por tipo, y en las últimas dos columnas se indica con el símbolo palomilla (✓) si el deterioro está asociado a LTE o PVD.

Cuadro 10. Asociación de deterioros superficiales a posibles problemas estructurales

TIPO DE DETERIORO	DESCRIPCIÓN	ANÁLISIS LTE	ANÁLISIS PVD
GRIETAS	Agrietamiento Lineal		✓
	Grieta de Esquina	✓	✓
	Grietas por contracción		
	Grietas en Malla o Resquebrajadura		
	Losa Dividida		✓
JUNTAS	Daño en sello de junta		
	Fractura de Esquina	✓	
	Fractura de Junta	✓	
SUPERFICIAL	Pulimiento de agregado		
	Desprendimiento de Agregados		
MISCELANEOS	Voladura (<i>Blow up</i>)		
	Escalonamiento entre calzada-juntas	✓	✓
	Escalonamiento entre calzada-espaldón		
	Bombeo		✓
	Punzonamiento		✓
	Baches (Grandes)		
	Baches (Pequeños)		
Cruce de línea férrea			

4.4.2. Calificación de LTE y PVD

Una vez identificadas las losas donde se presentan los deterioros asociados a LTE y PVD, se procede a programar y ejecutar los ensayos correspondientes en las juntas transversales, según las recomendaciones y configuraciones dadas en el apartado 3.4.2. Toma de datos de LTE y PVD.

Finalmente, con los resultados de los ensayos, se realiza la calificación de LTE y PVD, para lograr determinar cuál es la condición real de las losas estudiadas. Los rangos de calificación de estos indicadores se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Criterio de clasificación para indicadores a partir de FWD: LTE y PVD

LTE (%)		PVD (micrones)	
Rango	Nota	Rango	Nota
[90,0 - 100,0]	Bueno	> 177,8	Malo
[20,0 - 90,0[Regular	[76,2 - 177,8[Regular
[0,0 - 20,0[Malo	< 76,2	Bueno

Finalmente se contabiliza la cantidad de losas para cada una de las clasificaciones y se calcula el porcentaje que representan en su respectivo tramo homogéneo.

4.5. Evaluación Complementaria

Para finalizar la evaluación de un pavimento rígido de manera integral se tienen dos indicadores de condición superficial: GRIP y PCI.

En cuanto a GRIP, se debe realizar la medición en toda la ruta, debido a que este indicador es de suma importancia por su estrecha relación con accidentes relacionados con condiciones peligrosas de deslizamiento. Al igual que con la calificación general y el análisis específico, se debe reportar el valor promedio para cada tramo homogéneo, así como la nota correspondiente, la cual se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Criterio de clasificación de agarre superficial

Grip Number (GN)	
Rango	Nota
> 0,78	Muy Bueno
[0,60 - 0,78]	Bueno
[0,50 - 0,60]	Regular
< 0,50	Malo

La evaluación por PCI, es alternativa bajo criterio del evaluador, y se podrá realizar en caso de requerir un análisis a nivel de proyecto o si se desea detallar un tramo específico o una sección de estos. La evaluación se debe llevar a cabo según lo establecido en el MAV-2016 y su criterio de clasificación se muestra a continuación.

Cuadro 13. Criterio de clasificación de PCI

PCI	
Rango	Nota
85-100	Bueno
70-85	Satisfactorio
55-70	Malo
40-55	Pobre
35-40	Muy Pobre
10-35	Serio
0-10	Fallado

4.6. Recomendaciones de Intervención

A partir de la calificación de condición técnica que se obtuvo para cada tramo homogéneo, y basado en los deterioros más probables que se presenten para cada nota QR, se procede a asignar las actividades de conservación o mejora. Las actividades propuestas, se basan en el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes

CR-2010. A continuación, se enlistan las secciones de dicho manual, en las cuales se detallan las actividades para pavimentos rígidos, esta nomenclatura de las secciones se utilizará en adelante, para referirse a las actividades para pavimentos rígidos.

Cuadro 14. Actividades para pavimentos rígidos según CR-2010

Sección	Actividad para Pavimento Rígido
502.05	Bacheo (profundidad parcial o total)
502.06	Reparación de juntas y grietas
502.07	Restablecimiento del nivel y soporte de los pavimentos
502.08	Estabilización y sellado inferior de los pavimentos
502.09	Fresado o cepillado de la superficie del pavimento
502.10	Fracturado y aplanado de las losas para sobrecapa

Una vez conocidas las posibilidades de rehabilitación de pavimentos, se muestra la asociación de las notas de calidad con las actividades, esta relación se basa en los principales deterioros esperables. Cabe aclarar que estas actividades son generales y se pueden aplicar a diferentes niveles de severidad y profundidad en el pavimento.

QR1:MR Al obtener una nota de calificación **QR1** se recomienda realizar Mantenimiento Rutinario para mantener o mejorar levemente la condición actual, se considera una condición adecuada en capacidad funcional y estructural. Las principales actividades a realizar son: **502.05** bacheo a profundidad parcial y **502.06** reparación de juntas y grietas; estas actividades se espera que sean leves, y se enfocan a reparar desprendimientos y fisuras menores respectivamente.

QR2:MP La nota de calificación **QR2** se obtiene por la combinación de una condición funcional regular con una adecuada condición estructural. Se deben adoptar medidas de Mantenimiento Periódico para optimizar el estado funcional de la vía. Por estas condiciones, se debe aplicar **502.06** reparación de juntas y grietas y así lograr recuperar fallas

en juntas y agrietamientos de severidad baja y media; además el **502.09** Fresado o cepillado de la superficie del pavimento, mejora condiciones de IRI.

QR3:Rm

Al obtener una nota **QR3**, el pavimento, aunque mantiene una condición estructural adecuada, presenta un alto deterioro funcional, por lo que debe someterse a estrategias de Rehabilitación Menor. Para esta nota del pavimento, los principales deterioros superficiales que evidencian su condición son parches, daños importantes en las juntas y agrietamientos severos, y pueden alcanzar profundidades importantes en la losa; para rehabilitar esta condición descrita, se deben programar las acciones de: **502.05** bacheo, **502.06** reparación de juntas y grietas y **502.09** Fresado o cepillado de la superficie del pavimento.

QR4:RM

Cuando se determina una deficiencia estructural importante, junto con una condición funcional al menos regular en un pavimento rígido, se clasifica con Nota **QR4**, y es candidato principalmente a técnicas de Rehabilitación Mayor basadas en las actividades: **502.07** restablecimiento del nivel y soporte y **502.08** estabilización y sellado inferior de los pavimentos para resolver problemas de escalonamiento y bombeo de finos. Adicionalmente, se deben sustituir dovelas donde se requiera y se debe complementar además con las acciones propuestas para las notas QR1 y QR2 para mejorar las condiciones funcionales.

QR5:R

Un pavimento rígido con nota **QR5**, presenta condiciones adversas en toda la estructura, con deterioros severos tanto estructurales como funcionales que comprometen la transitabilidad por estas vías. Bajo este panorama, se podrían realizar acciones como las estipuladas para la nota QR4, sin embargo, su nivel de intervención es tan alto y se presentan tantos factores afectados, que se determina como la estrategia óptima la reconstrucción del pavimento.

Finalmente, la actividad **502.09 fresado o cepillado de la superficie del pavimento**, se debe aplicar en todos los casos en los que se tenga una condición deslizante en un pavimento rígido; el nivel o profundidad de aplicación debe ser tal que se aseguren valores de GN mayores

a 0.78, lo que indica que se transita bajo una condición de seguridad determinada por un adecuado agarre superficial.

Adicionalmente, para aquellos casos en los que se deseen determinar medidas de rehabilitación específicas, o se realice identificación de deterioros, se puede seguir la guía que se muestra en el siguiente cuadro, donde se ubican las actividades por aplicar en cada caso. La simbología utilizada para los deterioros es la especificada en el MAV-2016 y se refiere a los niveles de severidad del deterioro, donde A: alta, M: media, B: baja y X: no posee criterio de severidad.

Cuadro 15. Actividades de rehabilitación para cada tipo de deterioro en pavimento rígidos

Deterioro	Medidas correctivas						
	Evaluar caso	502.05 Parcial	502.05 Total	502.06	502.07	502.08	502.09
Agrietamiento Lineal			A	B, M			
Grieta de Esquina			A	B, M		B, M	
Grietas por contracción	A, B, M						
Grietas en Malla	B, M	A					
Losa Dividida			M, A	B, M			
Daño en sello de junta				A, B, M			
Fractura de Esquina		M, A	M, A	B			
Fractura de Junta		M, A	M, A	B			
Pulimiento de agregado		X					X
Desprendimiento Agregados		X					
Voladura (<i>Blow up</i>)			A, B, M	A, B, M			
Escalonamiento calzada (FLT)			A, B, M		A, B, M		
Escalonamiento en espaldón			A, B, M		A, B, M		
Bombeo				X			
Punzonamiento			A, B, M	A, B, M			
Baches		A, B, M	A, B, M				
Cruce de línea férrea		A, B, M					

CAPÍTULO V. APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS RIGIDOS: CARRETERA CAÑAS - LIBERIA

La información de este capítulo, corresponde a la aplicación del modelo de evaluación de pavimentos rígidos diseñado en esta investigación para el proyecto vial Cañas – Liberia.

Los ensayos de campo, fueron facilitados por LanammeUCR, y se realizaron con el equipo anteriormente descrito y bajo las normativas vigentes; además se aplicaron las configuraciones del equipo que se describieron en los capítulos anteriores de este documento.

El Cuadro 16, presenta los números de informe pertenecientes a las solicitudes de trabajo (ST), con sus respectivas fechas, que fueron utilizados para evaluar Cañas -Liberia según el modelo de evaluación propuesto. En el caso del PCI, la auscultación visual responde a una solicitud de evaluación de este indicador por parte del CONAVI en el año 2017. En el Anexo E, se pueden consultar las solicitudes de ensayos e informes de ensayo, según la numeración del siguiente cuadro.

Cuadro 16. Números de informe y solicitud de ensayos por indicador

<i>Indicador</i>	<i>Informe</i>	<i>Fecha</i>	<i>ST</i>
FLT e IRI	I-1126-19	Abril, 2019	ST-0378-19
PCI	LM-IC-D-0745-17-1	Setiembre, 2017	-----
LTE	I-1011-19	Marzo, 2019	ST-0249-19
GRIP	I-0248-19	Febrero, 2019	ST-0209-19
PVD y LTE	I-1300-19	Mayo, 2019	ST-0453-19

Además, los resultados de las mediciones o cálculos de cada uno de los indicadores en cada sentido, sin agrupar por tramos homogéneos, se pueden consultar en los mapas del Apéndice A.

5.1. Delimitación de Cañas - Liberia

La carretera evaluada corresponde a la Ruta Nacional 1 entre los estacionamientos 163+555 y 213+677, conocida como Interamericana Norte entre Cañas y Liberia, la ruta se puede apreciar en la Figura 16 representada con una línea color naranja. El pavimento evaluado es del tipo JPCP y consiste en losas de concreto de 4.15 m de longitud y 3.60 m de ancho, con dovelas en las juntas transversales. La carretera es de dos carriles por sentido y posee una longitud total de 50 km aproximadamente.



Figura 16. Mapa de localización y ubicación del pavimento evaluado sobre Ruta Nacional 1

Para la totalidad de la ruta Cañas - Liberia, se identificaron cinco singularidades mayores, las cuales se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 17. Ubicación de pasos a desnivel en Cañas-Liberia

Paso a desnivel	Est. Inicio	Est. Fin	Longitud (m)	Descripción del Cruce
01	164+427	166+102	1 675	R.1 con R. 142, hacia Cañas
02	171+100	171+800	700	R.1 con R. 6, hacia Bijagua
03	186+314	186+994	680	R.1 con R. 164, hacia Bagaces
04	210+107	210+796	689	R.1 con Av. 34, hacia Llano la Cruz
05	211+938	213+487	1 549	R.1 con R. 21, hacia Liberia

Además, se localizaron 18 puentes en la ruta; su ubicación por estacionamientos se muestra la en el siguiente cuadro.

Cuadro 18. Ubicación de puentes en Cañas-Liberia

Puente	Est. Inicio	Est. Fin	Long. (m)	Puente	Est. Inicio	Est. Fin	Long. (m)
01	164+077	164+149	71	10	186+161	186+195	35
02	167+583	167+622	38	11	190+006	190+074	68
03	168+563	168+591	29	12	193+375	193+423	48
04	170+106	170+193	86	13	198+715	198+737	22
05	174+041	174+106	65	14	199+983	200+011	29
06	176+128	176+174	47	15	203+098	203+157	59
07	179+291	179+341	50	16	205+646	205+684	38
08	181+562	181+599	37	17	209+381	209+416	35
09	182+952	182+982	31	18	211+661	211+717	56

Un listado con estacionamientos consecutivos de las singularidades presentes sobre Ruta Nacional 1 entre los poblados de Cañas y Liberia se pueden consultar en el Apéndice B. Además, este mismo apéndice muestra el estacionamiento de los tramos de carretera entre los pasos a desnivel, que se denotan con el nombre de secciones.

5.2. Tramificación Homogénea en Cañas - Liberia

A partir de la ubicación de los pasos a desnivel, se definieron seis sectores, nombrados con la letra "s" seguida de un numerador consecutivo en orden ascendente de estacionamiento. Además, se calculó la longitud mínima que debe tener un tramo homogéneo por sector, los datos mencionados se presentan en el Cuadro 19, y las iteraciones y cálculos de estos parámetros se muestran en el Apéndice C.

Cuadro 19. Longitud mínima para tramos homogéneos por sector para Cañas - Liberia

Sector	Longitud del sector (m)	Longitud mínima (m)
s1	837	747
s2	4998	1909
s3	14514	2158
s4	23112	2241
s5	1142	913
s6	120	120

A partir de los perfiles longitudinales de MRI y FLT (ver Apéndice D) se obtienen los tramos homogéneos preliminares, los cuales se muestran en la Figura 17 con líneas rojas según el estacionamiento correspondiente, y junto con ellos se presentan las singularidades mayores; en dicha figura, como parte de la simbología, se indica el sentido de análisis después de un guion bajo.

Además, en la Figura 17 se muestra la unificación de los tramos en ambos sentidos (línea "Tramos_b") junto con la corrección y reasignación de las unidades básicas de análisis para que cumplan con el criterio de longitud mínima mostrado anteriormente en el Cuadro 19; esta última definición corresponde gráficamente a la línea denominada "Tramos_b_Lmin" en la figura mencionada. Los detalles de reasignación por longitud mínima se muestran en el Apéndice E.

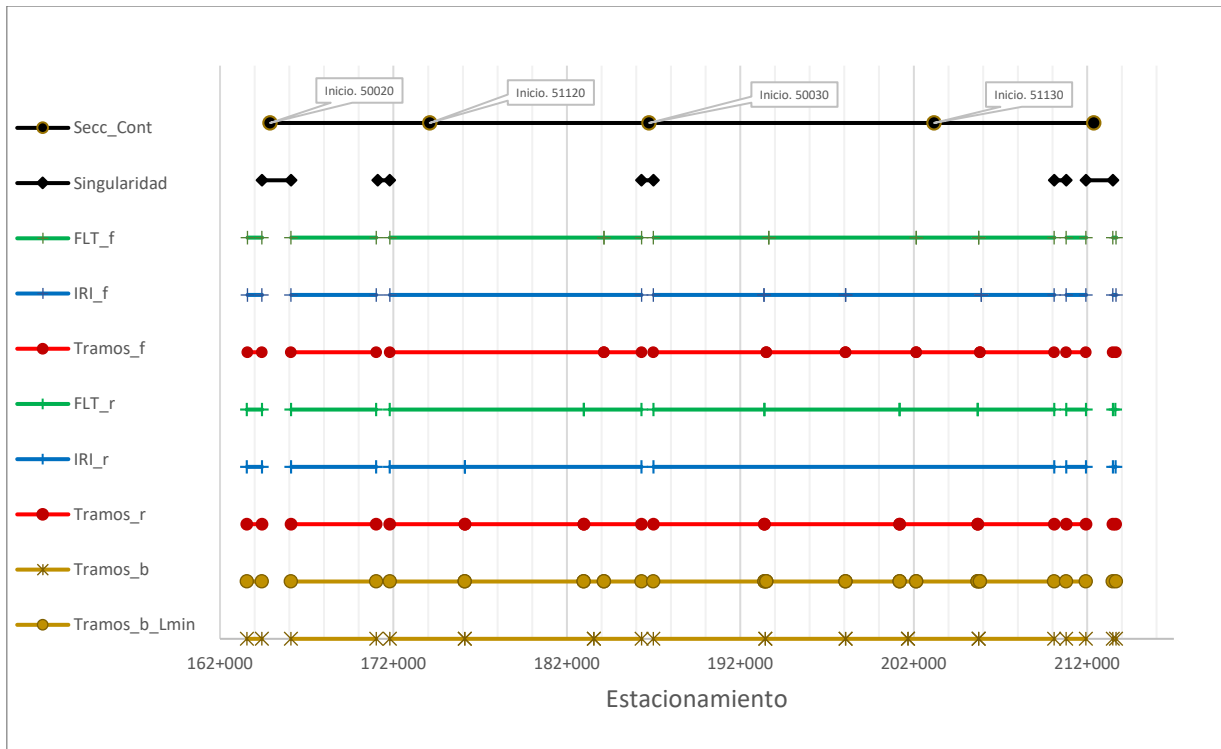


Figura 17. Tramificación homogénea para Cañas – Liberia

Finalmente, según lo mencionado acerca de lo mostrado en la figura anterior, se obtuvieron 12 tramos homogéneos con los sentidos unificados para los 50 km de la ruta Cañas – Liberia; a continuación, en el Cuadro 20 se detallan los estacionamientos y longitudes de cada uno.

Cuadro 20. Lista de tramos homogéneos para Cañas - Liberia

No.	Tramo Homogéneo	Estación Inicio (m)	Estación Fin (m)	Longitud (m)
1	5_r001_b_001	163+555	164+427	872
2	5_r001_b_002	166+102	171+016	4914
3	5_r001_b_003	171+800	176+126	4326
4	5_r001_b_004	176+126	183+568	7442
5	5_r001_b_005	183+568	186+314	2747
6	5_r001_b_006	186+994	193+456	6462
7	5_r001_b_007	193+456	198+080	4624
8	5_r001_b_008	198+080	201+675	3595
9	5_r001_b_009	201+675	205+757	4082
10	5_r001_b_010	205+757	210+107	4350
11	5_r001_b_011	210+796	211+938	1142
12	5_r001_b_012	213+487	213+677	190

En la siguiente figura, se muestra el mapa de la ruta evaluada con la distribución espacial del resultado de realizar la tramificación homogénea mencionada en el cuadro anterior, y con esto se concluye la definición de las unidades básicas de evaluación para la carretera Cañas - Liberia.

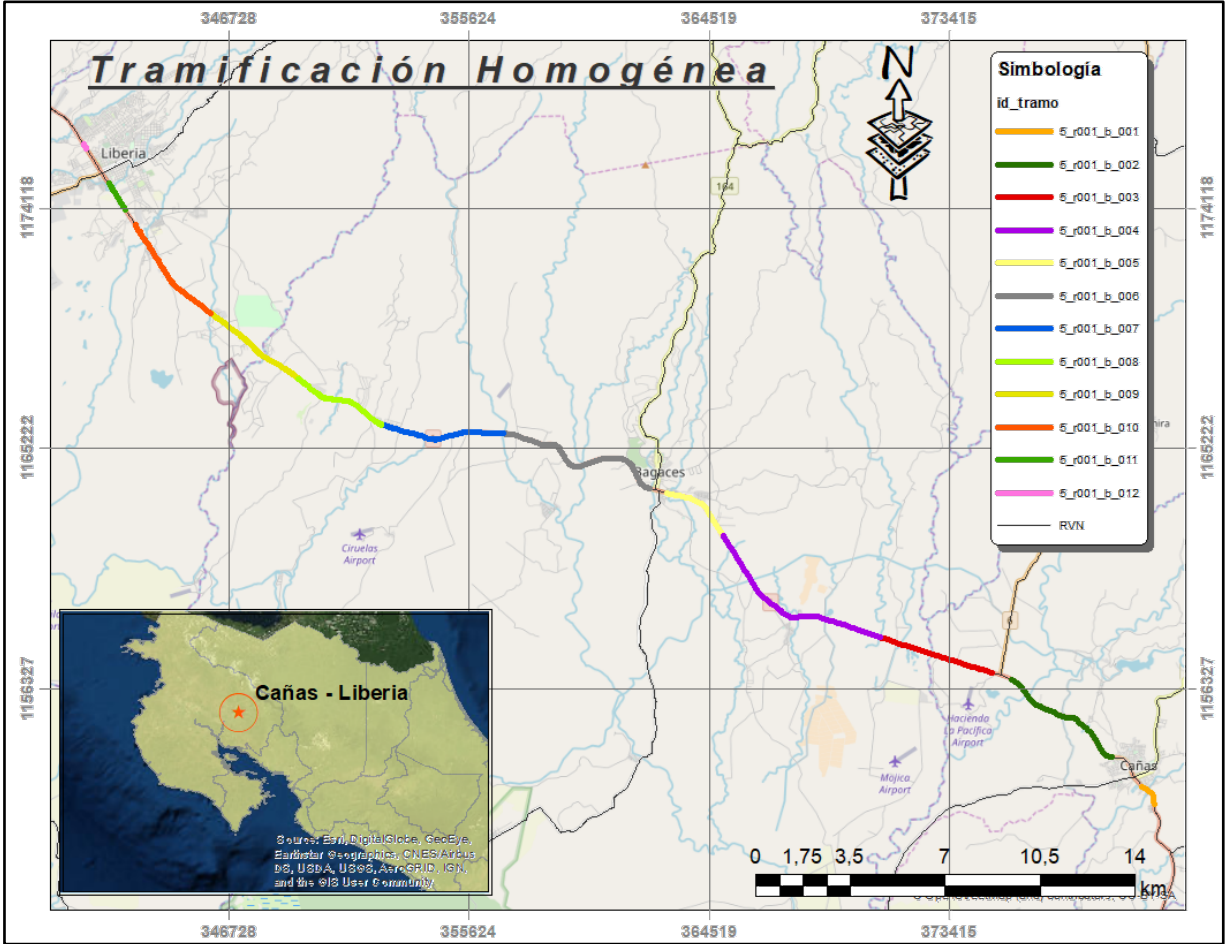


Figura 18. Mapas de tramos homogéneos para la ruta evaluada

5.3. Calificación Técnica General de Cañas - Liberia

Para cada tramo homogéneo definido anteriormente, se obtuvo la nota correspondiente a la condición funcional y estructural, los resultados se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Notas funcional y estructural para cada tramo homogéneo en Cañas - Liberia

Tramo Homogéneo	Est. inicio (m)	Est. fin (m)	MRI (m/km)	Nota IRI	FLT (mm)	Nota FLT
5_r001_b_001	163+555	164+427	2,9	Regular	4,2	Bueno
5_r001_b_002	166+102	171+016	2,9	Regular	4,4	Bueno
5_r001_b_003	171+800	176+126	2,7	Regular	4,3	Bueno
5_r001_b_004	176+126	183+568	2,5	Regular	4,2	Bueno
5_r001_b_005	183+568	186+314	2,5	Regular	4,1	Bueno
5_r001_b_006	186+994	193+456	2,6	Regular	4,2	Bueno
5_r001_b_007	193+456	198+080	2,5	Regular	4,0	Bueno
5_r001_b_008	198+080	201+675	2,5	Regular	4,6	Bueno
5_r001_b_009	201+675	205+757	2,6	Regular	4,7	Bueno
5_r001_b_010	205+757	210+107	2,5	Regular	4,4	Bueno
5_r001_b_011	210+796	211+938	2,8	Regular	4,9	Bueno
5_r001_b_012	213+487	213+677	2,8	Regular	4,3	Bueno

Como se puede observar en el cuadro anterior, el comportamiento en todos los tramos homogéneos de la carretera evaluada es uniforme, y corresponden a un regular nivel funcional y buen estado estructural. Debido a los resultados obtenidos, los siguientes pasos en la evaluación y estrategias de intervención se dictarán para toda la carretera, sin perder de vista que realmente se aplica para cada unidad de análisis.

A partir de las condiciones recién descritas, se procedió a obtener la nota de calidad QR, que corresponde en este caso a **QR2**, lo que representa un deterioro con afectación funcional principalmente. En la Figura 19 se observa el uso de la matriz de nota QR para el pavimento evaluado.

Nota QR	Componente Estructural: FLT (mm)				
	Nota: Rango	MB: [0.0 , 3.0]	B:]3.0 , 10.0]	R:]10.0 , 20.0]	M: > 20.0
Componente Funcional: IRI (m/km)	MB: [0.0 , 1.4]	QR1: MR	↓		** QR4: RM
	B:]1.4 , 2.3]				
	R:]2.3 , 3.6]	→ QR2: MP			
	M:]3.6 , 6.0]	QR3: Rm			** QR5: R
	MM: > 6.0				

Figura 19. Matriz de calificación de nota QR para Cañas – Liberia

5.4. Evaluación Complementaria en Cañas - Liberia

Para finalizar con la evaluación de la ruta, se realizaron los ensayos y el procesamiento correspondiente, para analizar el agarre superficial para la carretera Cañas Liberia, y se obtuvieron las calificaciones y notas que se presentan a continuación para cada tramo homogéneo.

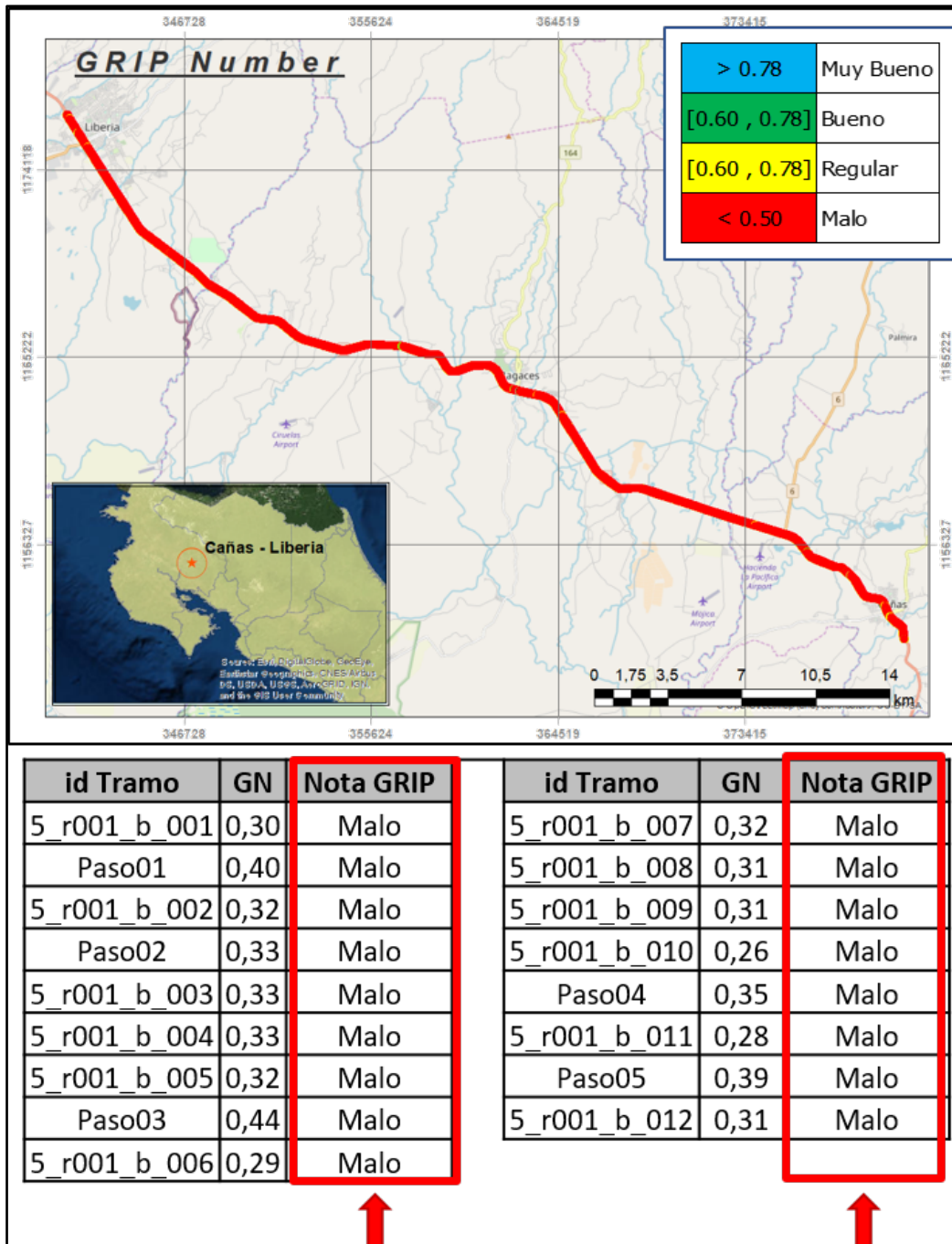


Figura 20. Mapa de evaluación de GRIP en Cañas - Liberia

Como se puede apreciar en la figura anterior, para la ruta completa, se presenta una **nota de GRIP mala**, lo cual indica una condición deslizante de la carretera con alto grado de peligrosidad por la deficiencia de agarre superficial.

5.5. Recomendaciones de intervención para Cañas - Liberia

Como se mencionó anteriormente, el pavimento de la vía Cañas - Liberia, se clasifica según su estado técnico con una nota QR2, lo cual indica que es una carretera que debe ser intervenida con actividades de mantenimiento periódico, donde el enfoque principal es la rehabilitación del componente funcional del pavimento.

Las principales acciones a ejecutar se encuentran detalladas en la sección **502.06** del CR-2010, y comprenden la reparación y resello de juntas y grietas para recuperar fallas en juntas y agrietamientos de severidad baja y media; así como lo especificado en la sección **502.09** para mejorar el perfil longitudinal de la vía y mejorar el IRI mediante fresado o cepillado de la superficie del pavimento. Estas medidas deben aplicarse en todos los tramos homogéneos.

Adicionalmente, aplicar fresado o cepillado de la superficie del pavimento (actividad **502.09** del CR-2010) también mejorar la condición de agarre superficial, y por ende la seguridad. Esta acción es de suma importancia, ya que la ruta actualmente presenta un estado asociable a una alta peligrosidad y puede desencadenar accidentes vehiculares.

5.6. Resumen de evaluación de Cañas – Liberia

En la siguiente figura, se presenta el resumen de cada una de las etapas del modelo aplicadas a la vía Cañas - Liberia, con su respectivo resultado.

Para todos los tramos homogéneos se obtuvo la misma calificación de condición técnica, por lo cual se presenta un solo resultado general aplicable a toda la ruta entre Cañas - Liberia. En la Figura 21 se presenta un resumen esquemático de los resultados de la evaluación para cada una de las etapas del modelo.



Figura 21. Resumen de la evaluación de Cañas - Liberia del 2019

5.7. Ejemplos adicionales de aplicación del modelo de evaluación en Cañas - Liberia

En el apartado anterior se completó la evaluación de la vía Cañas - Liberia, sin embargo, se presentarán los resultados y el análisis de los indicadores que no fueron necesarios para determinar la condición técnica de Cañas - Liberia debido a su estado actual. Se muestran a continuación los siguientes estudios a modo de ejemplo:

- Análisis específico: LTE y PVD en Cañas - Liberia.
- Evaluación complementaria por PCI en Cañas - Liberia.

5.7.1. Análisis específico: LTE en Cañas – Liberia

Dado que LTE no fue uno de los indicadores a evaluar en Cañas – Liberia, debido a que se obtuvo una nota QR2 para la carretera, se consultó a LanammeUCR por la existencia de datos de deflectometría en la zona de estudio anteriores. LanammeUCR contaba con ensayos en los 100 km de la carretera, por lo que se decidió utilizar esos datos tomados en marzo del 2019.

Sin embargo, la metodología de ensayo difería en ubicación (ensayo en el centro de la junta transversal) respecto a la propuesta en el modelo de esta investigación (ensayo en la junta sobre la huella). Para solventar la diferencia, se decidió realizar una nueva solicitud de ensayo probando ambas ubicaciones, centro y huella, en un tramo de 12 km de longitud cada 250 m, para poder realizar una comparación y estudiar esta variable un poco más. En la Figura 22 se muestran los valores de LTE respectivamente estacionados para el segmento de prueba mencionado.

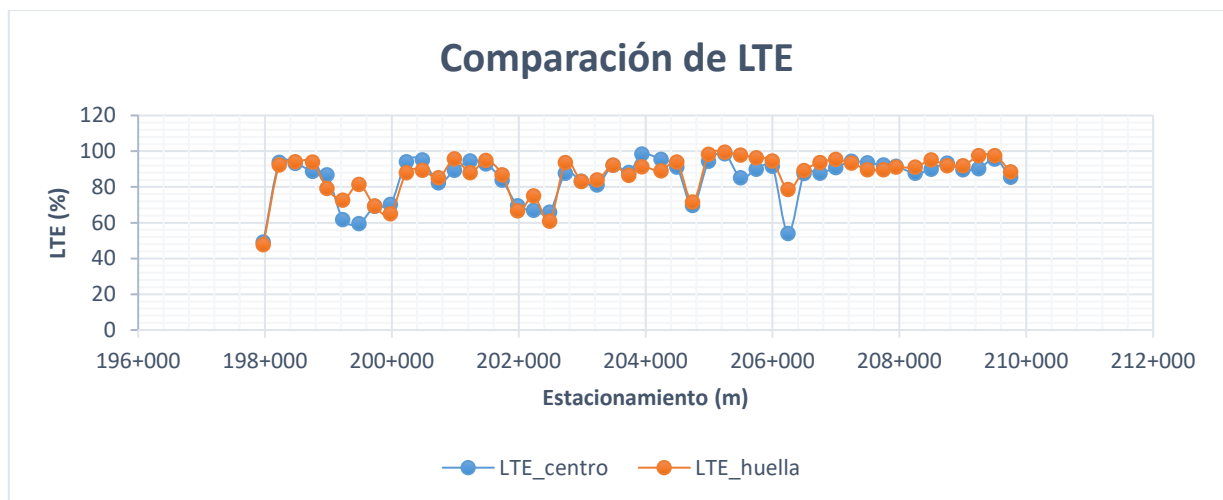


Figura 22. Comparación de LTE para huella y centro en un segmento de Cañas – Liberia

Como se puede observar en la figura anterior, no se muestra una tendencia clara del comportamiento de los datos en la huella respecto al centro, por lo que se decidió realizar un estudio estadístico de los datos, que se puede ver en el Apéndice F, y se determinó que las medias de ambos ensayos no difieren con un nivel de confianza del 95%. A partir de esta conclusión estadística, se decidió utilizar los datos como ejemplo de evaluación, sin que pierdan validez de la condición real del pavimento respecto a los postulados del modelo.

Una vez aclarada la situación, se procedió a analizar los datos, y en la Figura 23 se presenta los resultados de la evaluación de la eficiencia de transferencia de carga, la simbología de colores representa la nota de calidad correspondientes a la calificación de LTE dada en el Cuadro 11.

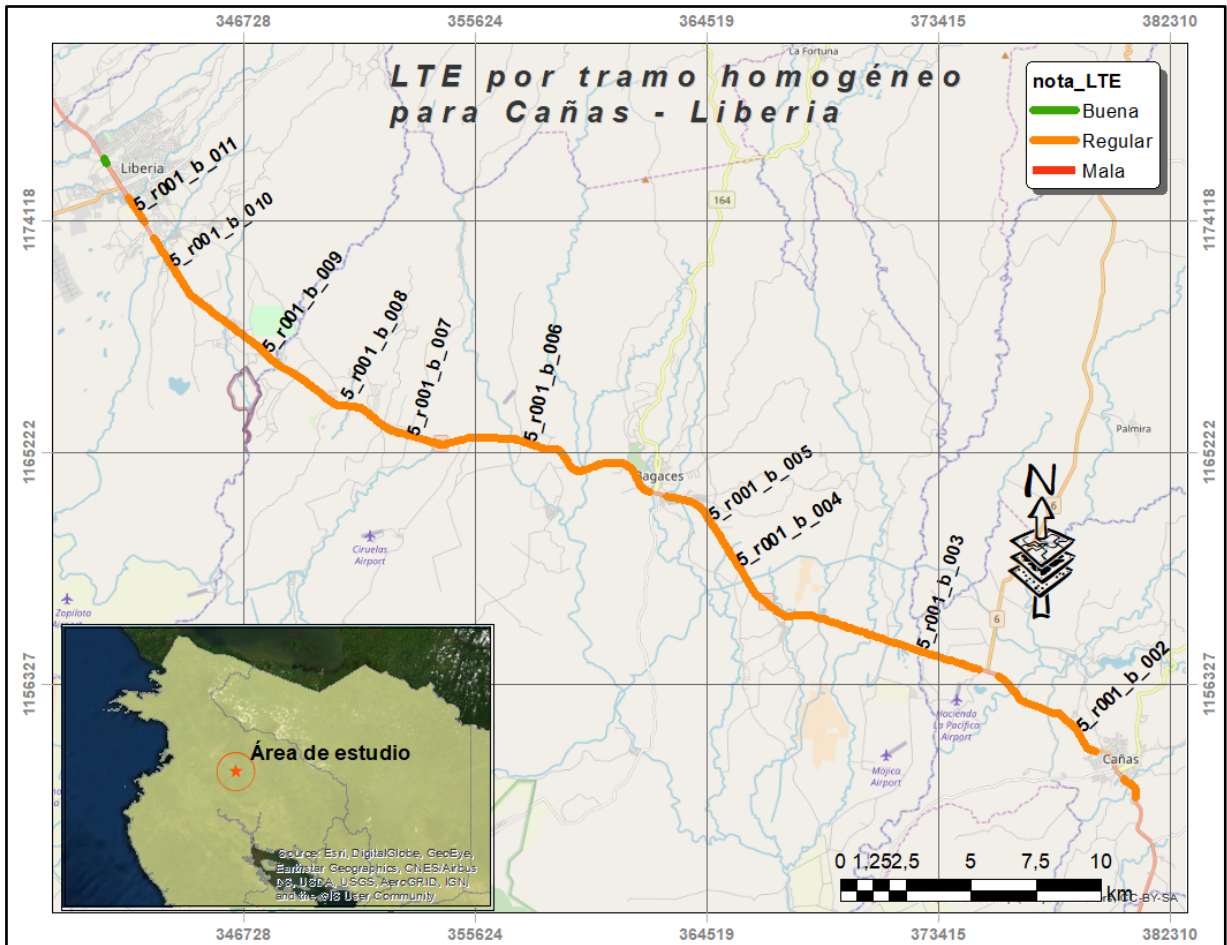


Figura 23. Mapa de resultados de LTE para Cañas - Liberia

Como se puede observar, predomina la condición Regulares de transferencia de carga, con valores mayores al 80% (ver Cuadro 22), únicamente el tramo homogéneo 5_r001_b_012 se tienen valores por encima del 90%.

Cuadro 22. Notas de LTE por tramo homogéneo para Cañas - Liberia

id_tramo	Est_inicio (m)	Est_fin (m)	LTE (%)	nota_LTE
5_r001_b_001	163+555	164+427	88,0	Regular
5_r001_b_002	166+102	171+016	87,1	Regular
5_r001_b_003	171+800	176+126	82,4	Regular
5_r001_b_004	176+126	183+568	80,7	Regular
5_r001_b_005	183+568	186+314	85,5	Regular
5_r001_b_006	186+994	193+456	81,9	Regular
5_r001_b_007	193+456	198+080	84,8	Regular
5_r001_b_008	198+080	201+675	88,7	Regular
5_r001_b_009	201+675	205+757	84,6	Regular
5_r001_b_010	205+757	210+107	87,8	Regular
5_r001_b_011	210+796	211+938	85,7	Regular
5_r001_b_012	213+487	213+677	95,7	Buena

Adicionalmente, se decide realizar el análisis estadístico de los valores de LTE de la población completa para el ensayo realizado en el centro de la junta transversal, ya que la nota QR2 indicaba una adecuada condición estructural, y con el ensayo de LTE se considera Regular.

Tras analizar estos datos (ver Apéndice F) se determinó un valor medio de LTE = 88,3%. Cabe recalcar, que el rango de calificación Regular mostrado en el Cuadro 11, es muy amplio (de 20% a 90%) y se obtuvo una nota muy cercana al valor mínimo de condición óptima respecto a LTE.

5.7.2. Análisis específico: PVD en Cañas – Liberia

Aparte de LTE, otro indicador que no fue necesario para determinar la condición de Cañas – Liberia, fue el potencial de vacíos (PVD), sin embargo, se decidió evaluar dos tramos donde se presentaban los mayores valores de FLT (ver el 1.1Anexo E para detalles de la solicitud de ensayo), con la finalidad de probar la configuración recomendada en el modelo. Los resultados con la calificación del indicador se muestran en la siguiente figura.

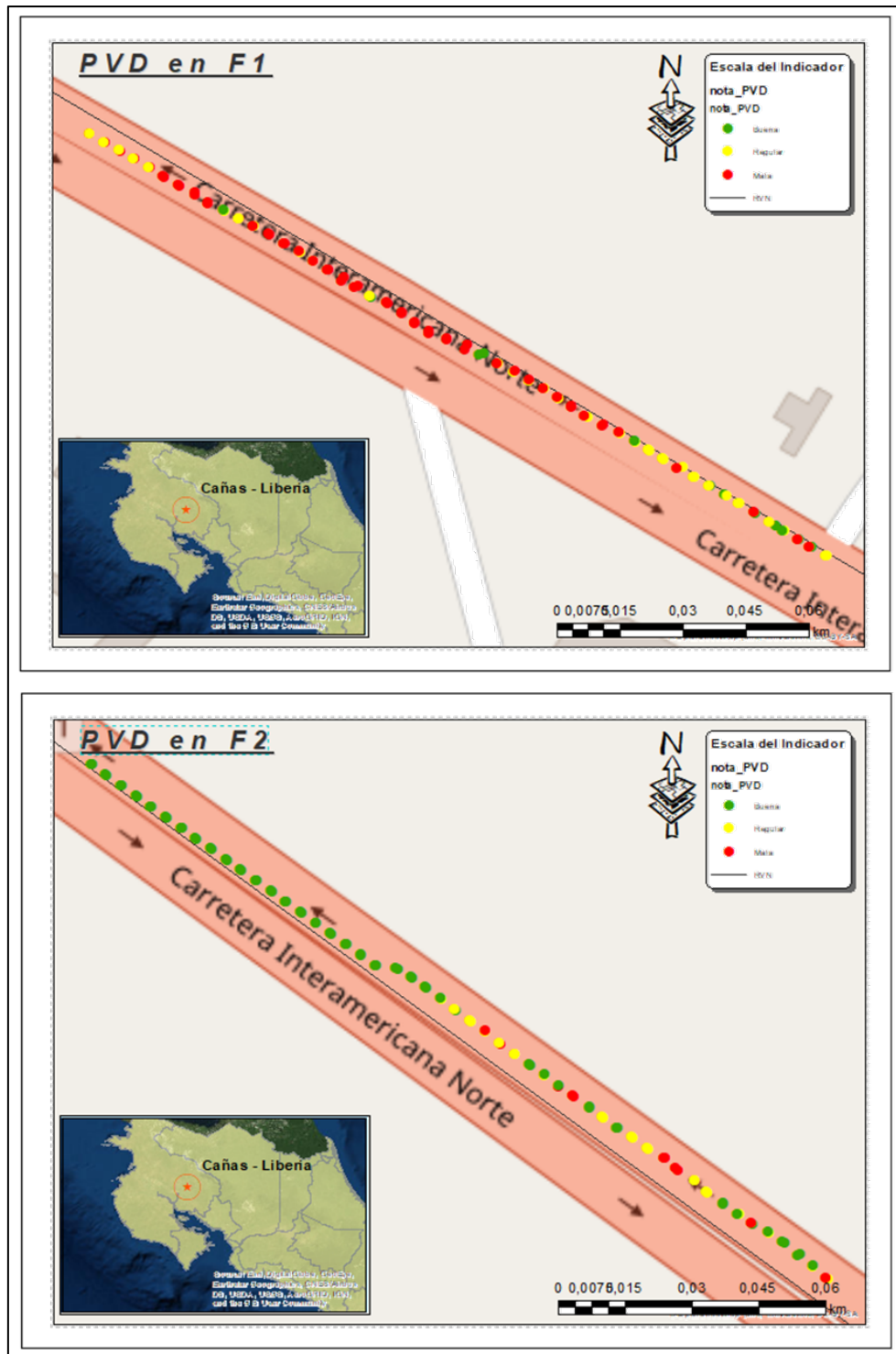


Figura 24. Ejemplo de calificación de PVD para los puntos con mayor FLT en Cañas – Liberia

Como se puede observar en la figura anterior, hay una variación en la calificación individual de PVD, sin embargo, hay un predominio de las juntas con buena calificación para este indicador en la figura de la derecha. Cabe recalcar, que como ya se mencionó, estos son los resultados de los segmentos donde se presentaban las peores condiciones estructurales, detectadas con el FLT (presencia de *outliers*), y el efecto de calificar todo un tramo homogéneo puede resultar en una condición de adecuado soporte bajo la losa, ya que las otras juntas tendrían mejores calificaciones de PVD.

5.7.3. Evaluación complementaria: PCI en Cañas – Liberia

Tras el levantamiento de deterioros en la ruta, se encuentra un predominio de escalonamiento en juntas transversales y grietas por contracción. El conteo de losas en las unidades de muestreo afectadas por cada deterioro se muestra en la Figura 25.

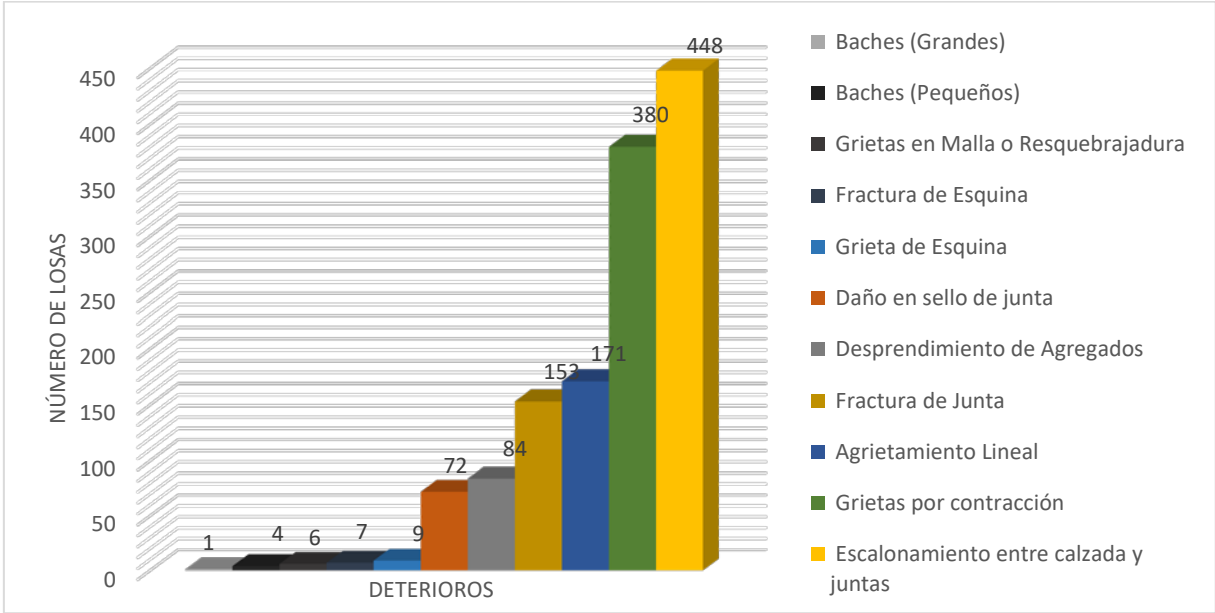


Figura 25. Cantidad de losas afectadas según el tipo de deterioros en Cañas - Liberia

A partir de estos deterioros y según la metodología establecida en el MAV-2016, se obtiene una calificación **buena** de PCI, lo que corresponde a valores entre 85 y 100 para todos los tramos homogéneos. Los valores específicos de PCI para cada tramo se muestran en la Figura 26.

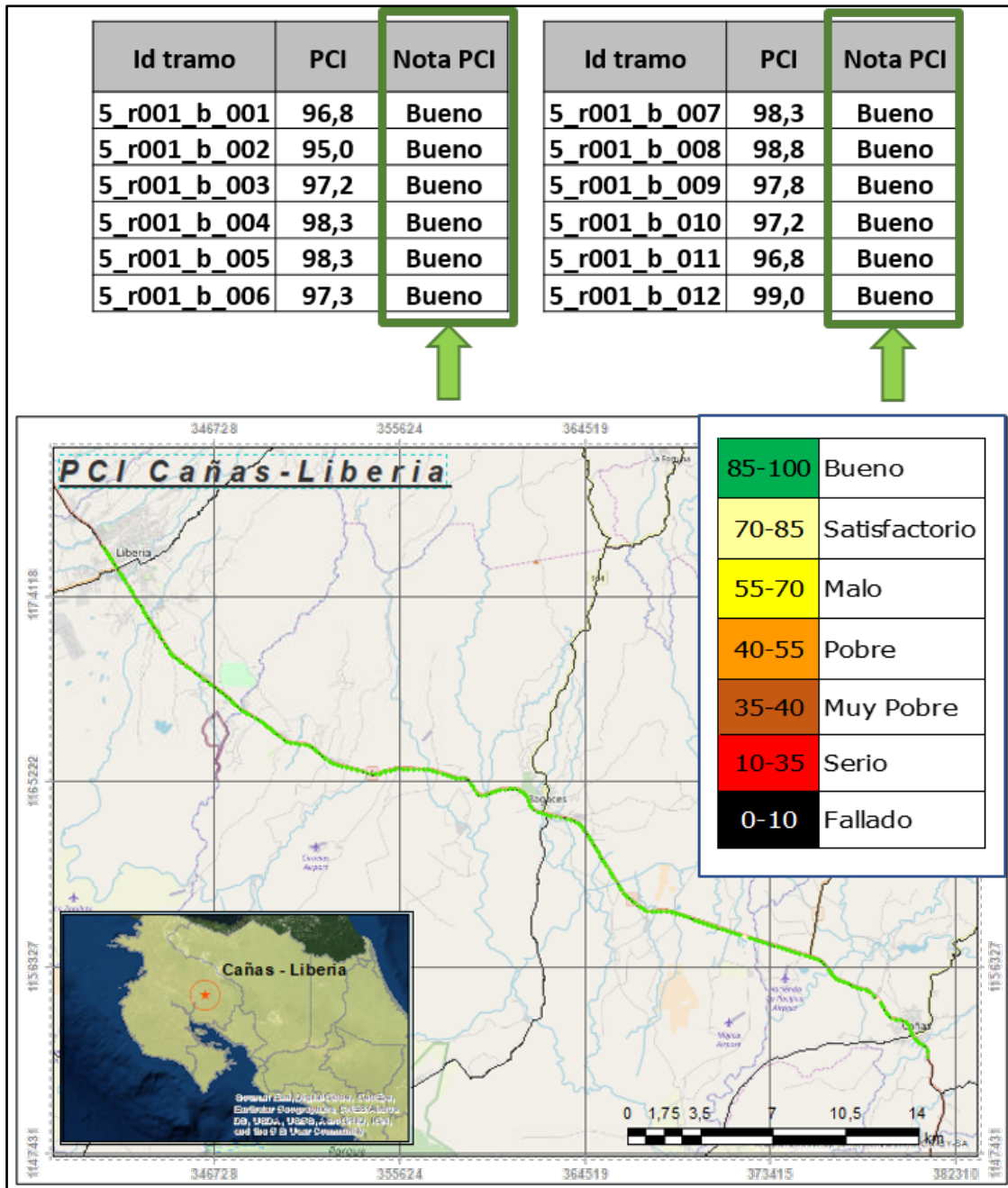


Figura 26. Mapa de resultados de PCI para Cañas - Liberia

--- página en blanco ---

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La Red Vial Nacional es un bien del Estado, que debe de permanecer en condición óptima de uso, para lo cual es indispensable ofrecer mantenimiento periódico justificado con criterios de eficiencia y objetividad. Para lograr mantener las carreteras bajo este panorama, lo primero debe ser, contar con un mecanismo definido para determinar la condición técnica de un pavimento, clasificar el tipo de estructura vial que se desea calificar y comprender los aspectos que deben ser evaluados.

6.1.1. Evaluación de un pavimento rígido

Se definieron los principales aspectos sujetos a valoración en pavimentos rígidos en servicio: capacidad estructural, capacidad funcional, condición superficial y aspectos asociados con la seguridad vial. Siguiendo lineamientos internacionales como normas ASTM y BSI, se determinó una metodología de ensayos de campo, con equipos de alta eficiencia, para evaluar los aspectos funcional, estructural y superficial de pavimentos rígidos de rutas en servicio, con las siguientes consideraciones:

- Para conocer el estado funcional de un pavimento rígido, se obtiene el perfil longitudinal de la superficie de ruedo, y a partir de este, se calcula el efecto de las irregularidades a las que se pueda someter un vehículo al transitar.
- Se definió el escalonamiento transversal como parámetro estructural general, a pesar de ser un aspecto funcional, porque se asocian a este deterioro superficial, dos tipos de problemas: deficiencia en los elementos de transferencia de carga (dovelas o agregados), y falta de soporte de la losa.
- Utilizar el perfilómetro láser inercial es muy conveniente al evaluar una carretera, ya que permite obtener de manera simultánea el perfil longitudinal de la superficie de ruedo y el escalonamiento transversal de las juntas, al procesar los datos tras recorrer la vía a la velocidad de tránsito normal, con el equipo calibrado y configurado para tal fin.

- El deflectómetro de impacto, permite documentar las deflexiones que sufre una losa al exponerla a diferentes niveles de carga cerca de la junta, y así reflejar el comportamiento estructural de un pavimento.
- Para precisar la condición de seguridad al transitar sobre un pavimento, se debe medir con el *Grip Tester*, el nivel de deslizamiento de la rueda en condición crítica de hidroplaneo en la vía.
- La identificación y localización de deterioros superficiales y su respectiva asociación de causas es de gran utilidad para evaluar el estado de un pavimento sin realizar medidas directas sobre la estructura. El equipo Geo 3D facilita la documentación del estado superficial de una carretera con un tiempo de estadía mínimo en carretera.

Para la metodología de evaluación, se determinó un proceso eficiente de ensayos que sea progresivos según la condición en que se encuentre el pavimento. Como se muestra en el Cuadro 23, la toma de datos con el perfilómetro láser y el *Grip tester* es imperativo para la evaluación, y los demás ensayos estarán condicionados.

Cuadro 23. Requisitos para los ensayos de la metodología de evaluación

Equipo	Requerimiento	Datos obtenidos	Extensión	Requisitos
Perfilómetro Láser	Obligatorio	Perfil Longitudinal Escalonamiento Transversal	Toda la ruta	No aplica
Geo 3D	Condicionado	Deterioros Superficiales	Tramos homogéneos	FLT > 1 mm
Deflectómetro de Impacto	Condicionado	Deflexiones cerca de las juntas transversales	Juntas identificadas	FLT > 1 mm y deterioros con causa estructural
Grip Tester	Obligatorio	Deslizamiento	Toda la ruta	IRI < 4 m/km
Geo 3D	Opcional	Deterioros Superficiales	Toda la ruta	Análisis de PCI

6.1.2. Calificación de los aspectos sujetos a evaluación en un pavimento rígido

Se definieron los indicadores de condición técnica para cada uno de los aspectos a evaluar en pavimentos rígidos, con sus respectivas notas y rangos de clasificación para una red vial en servicio: IRI, FLT, GRIP, LTE, PVD y PCI.

- Con el Índice de Regularidad Internacional (IRI), se determina la condición funcional de un pavimento rígido, ya que calcula las desviaciones del perfil longitudinal sobre las huellas. Para considerar condiciones óptimas de confort en una vía se deben presentar valores de no más de 1,4 m/km con acumulación cada 100 m.
- Se definió el escalonamiento calzada y junta como el principal indicador de condición estructural, porque a pesar de ser un aspecto funcional, sus causas son: deficiencia transferencia de carga y falta de soporte de la losa, es decir, es un indicador que refleja el comportamiento estructural del pavimento; se adoptó FLT como la abreviatura para este fenómeno.
- Se considera como condición óptima estructural, valores de FLT menores o iguales a 3,0 mm, mientras que FLT de al menos 10,0 mm implica deficiencias estructurales, y para determinar la condición técnica estructural detallada, es decir, evaluar la eficiencia de transferencia de carga (LTE) y la detección de vacíos potenciales (PVD).
- La eficiencia de transferencia de carga o LTE, describe el comportamiento de las losas consecutivas al exponerlas ante cargas por medio de las deflexiones, y se determinó el 90% de LTE como el límite inferior para un funcionamiento ideal, ya que se da una transferencia de carga completa (Ricci, E et al., 1985).
- El soporte adecuado de las losas sobre las capas inferiores, se califica por medio de la detección de vacíos potenciales, y se denominó con las siglas PVD. Este indicador se considera adecuado con valores menores a 76,2 micrones.
- Para pavimentos con buena condición de IRI (menor a 4 m/km @ 100m), se determina la resistencia al deslizamiento mediante el *Grip Number*, y se puede asociar a una condición de segura de tránsito, valores de GN mayores a 0,78.

- Se identificó al PCI como el indicador general de condición de carreteras, a partir de los síntomas de deficiencias en el pavimento. Sin embargo, se concluyó que este indicador puede ser remplazado por otros que se obtienen de la medición directa de algunas características de la vía.

6.1.3. Recomendaciones generales de intervención

Se identificaron las actividades de rehabilitación vigentes en la normativa de Costa Rica (Ley 7798), que corresponden a: mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, rehabilitación menor, rehabilitación mayor y reconstrucción.

Es posible, a partir de la calificación de los indicadores de condición técnica para pavimentos rígidos, asignar las respectivas estrategias de intervención según las actividades propuestas en el CR-2010: bacheo, reparación de juntas y grietas, restablecimiento del nivel y soporte, estabilización y sellado inferior, fresado, y fracturado y aplanado de las losas para sobrecapa.

6.1.4. Modelo de calificación técnica general de pavimentos rígidos

A partir de la identificación de las causas asociadas a las deficiencias en los aspectos a evaluar en un pavimento rígido, se concluyó que el análisis aislado de los componentes de condición técnica no es suficiente ni representativo para un pavimento, por lo que se determinó un modelo de evaluación que sea integral y objetivo.

Se encontró gran utilidad al fragmentar una ruta identificada, en segmentos por medio del método de diferencias acumuladas, ya que permitió realizar análisis por segmentos, asegurando representatividad estadística de los indicadores en cada uno de ellos; estos segmentos se denominaron tramos homogéneos.

A partir de la evaluación con el perfilómetro láser inercial, se logró la calificación técnica general de un tramo homogéneo, con los indicadores IRI y FLT, que representan los componentes funcionales y estructurales respectivamente. Esta calificación se definió como Nota QR, que consta de cinco notas según el estado del pavimento.

Para una vía de concreto hidráulico con juntas, que obtenga una Nota QR3 o Nota QR4, se definieron los ensayos de FWD para LTE y PVD, con los cuales se estudian a detalle las causas de falla estructural del pavimento.

Finalmente, con el modelo propuesto, se evaluó de manera completa la Ruta Nacional 1 entre los poblados de Cañas y Liberia, logrando determinar la condición general de esta vía y recomendar acciones generales de intervención para optimizar su funcionamiento, todo esto a partir de ensayos de campo con equipo especializado; comprobando así la factibilidad de evaluación con este modelo.

Además, al calificar Cañas - Liberia, se obtuvieron datos congruentes entre el indicador general FLT, y el indicador de LTE, logrando evidenciar la eficiencia de realizar una evaluación condicionada de algunos parámetros.

A partir de los puntos expuestos en este apartado, con la presente investigación, se logró definir y sustentar el diseño de un modelo para calificar la condición técnica de pavimentos rígidos en servicio para la RVNP de Costa Rica a partir de ensayos no destructivos de campo.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda evaluar periódicamente los pavimentos rígidos con el modelo propuesto, ya que independientemente de la etapa de vida del pavimento, siempre se debe dar mantenimiento oportuno a diferentes niveles. El planteamiento de la estrategia de intervención de una vía, debe ser respaldada para evitar mayores gastos y deterioros acelerados. Además, si se realizan evaluaciones periódicas, se pueden generar análisis comparativos para monitorear la efectividad de las intervenciones realizadas en el tiempo para pavimentos rígidos.

El modelo diseñado, debe actualizarse con el transcurrir de los años, ya que los avances tecnológicos pueden ofrecer nuevos métodos de evaluación de las carreteras.

Además, respecto al modelo de evaluación, se recomienda un estudio detallado de los indicadores definidos para validar o redefinir los rangos de calificación, en especial para: FLT, LTE y PVD, ya que no se cuenta con normas establecidas ni con investigaciones profundas recientes que aclaren o analicen variables de cada uno de estos indicadores.

Es importante lograr conformar bases de datos claras, completas y estructuradas de los ensayos, su procesamiento y posterior análisis, ya que, a futuro, se podrá contar con información muy valiosa para generar nuevos estudios a partir de información histórica relevante.

Se recomienda generar un inventario vial unificado, y su posterior actualización con cada evaluación, debido a que conocer el inventario vial, puede ser de gran utilidad para entender el alcance de evaluaciones y poder gestionar de la mejor manera las carreteras.

Se recomienda a la administración o entes encargados afines, adoptar este u otro modelo para evaluación de los pavimentos rígidos, conociendo las particularidades de estas estructuras, y además, generar normativas que definan los criterios de calidad que se deben exigir para dar un servicio óptimo en cuanto a funcionamiento y seguridad de las vías.

FUENTES DE INFORMACIÓN

AASHTO. (2017). *R36-17 Evaluating Faulting of Concrete Pavements*. Washington D. C.

ASTM International. (2006). *E867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2013). *D4695-03 Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2015). *D4694-09 Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2017). *E1170-97 Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2018). *E950/E950M-09 Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer-Established Inertial Profiling Reference*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Ávila, T., Garro, J. F., Barrantes, R., & Loría, L. G. (2012). *Evaluación de las losas cortas de concreto en la autopista Florencio del Castillo Ruta 2* [Technical Report]. Recuperado de Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR website: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/248>

Badilla, G, Elizondo, F, & Barrantes, R. (2008). *Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI* (N.º UI-03-08). San José: LanammeUCR: LanammeUCR.

BSI. (2000). *BS 7941-2: Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces.*

Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device.

Cervantes, V., Fonseca, F., Hidalgo, A. E., Salas, M., & Loría, L. G. (2016). *Evaluación del PCI, de los deterioros y del desempeño de la losa de rodamiento mediante los parámetros de IRI y Grip, Proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia.* Recuperado de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/929>

CONAVI. (2017). Listado de la Red Vial Nacional. Recuperado 28 de abril de 2018, de Mapas de Carreteras de la Red Vial Nacional website:

http://www.conavi.go.cr/wps/portal/http://www.conavi.go.cr/wps/portal/CONAVI/CONAVICR/Informaci%C3%B3n%20Institucional/Red%20Vial%20Nacional!/ut/p/b1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOLNnby8_b3dDQ38QxydDRyDjbx9XE09DUI9TPULsh0VAc7puPs!

Crovetti, J, & Darter, M. (s.f.). Void Detection for Jointed Concrete Pavements. *Transportation Research Record, 1041.*

Donahue, J. (2004). *Void Detection with the Falling Weight Deflectometer* (Corto N.º 04-004; p. 2). Jefferson City, Estados Unidos: Missouri Department of Transportation.

Elizondo, F, & Rojas, M. (2019). *Catálogo de ensayos para evaluación de pavimentos, LanammeUCR.* Recuperado de https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1612/catalogo_evaluacion_pavimentos.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Garnica, P., Sersma, J. A., & Gómez, J. A. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos*.

Recuperado de <https://trid.trb.org/view/946715>

Garro, J. F., Valverde, C., & Vega, P. (2017). *Evaluación del estado de las Rutas Nacionales*

204 y 211, tramo Zapote – San Francisco – La Colina (N.º LM – PI – UGERVN – 3 –

2017; p. 36). San José: LanammeUCR: LanammeUCR.

Khazanovich, L, & Gotlif, A. (2003). *Evaluation of Joint and Crack Load Transfer* (N.º FHWA-

RD-02-088; p. 118). San José: LanammeUCR: FHWA.

LanammeUCR. (s.f.). *Método de ensayo para medir la resistencia al deslizamiento de una*

superficie haciendo uso de un dispositivo Griptester. Recuperado de

<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/11-campo/11.3.pdf>

LanammeUCR. (2013a). *FT-UGERVN-FWD-02*. Recuperado de

[http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

[UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

LanammeUCR. (2013b). *FT-UGERVN-GRIP-03*. Recuperado de

[http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

[UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

LanammeUCR. (2013c). *FT-UGERVN-PL-01*. Recuperado de

[http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

[UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

LanammeUCR. (2013d). *FT-UGERVN-T3D-05*. Recuperado de

[http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

[UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/FICHAS/Deflectometro%20de%20Impacto.pdf)

- LanammeUCR. (2014). *Equipos de Laboratorio de Infraestructura Vial*. Recuperado de http://www.lanamme.ucr.ac.cr/PDF/Catalogo_Equipos.pdf
- Leiva, F. (2005). *Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos* (N.º LM-PI-PV-IN-27B-05). San José: LanammeUCR: LanammeUCR.
- Leiva, P, Hidalgo, A, Arriola, R, & Loría, L.G. (2014). *Estudios técnicos realizados para la aplicación del índice de regularidad internacional (IRI) en Costa Rica*. Recuperado de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1369>
- Loría, L.G. (2018). *Capítulo 1. Introducción. Análisis y diseño de pavimentos*. PDF presentado en IC-1031 Diseño de Pavimentos, San José: Universidad de Costa Rica.
- MOPT. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010*. Recuperado de <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/391>
- MOPT. (2011). Plan Nacional Transportes 2011-2035. Recuperado 28 de abril de 2018, de http://www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/informacionrelevante/planificacion/planTransportes/pnt/!ut/p/z1/nZFNC4JAEIZ_SwevzpgfWbe1SLRFS7BsL2Fhm6FumOXfT-qSIRbNbYbnGXhngEEErIjvKY-rVBRx1vRbZuycpY3KQkPqr10NCfU8dRkSnFIFNm3ANoIZkjGI-txH1RwhsF98bBVBKxhaKqLtD__x3zd991kvYur9gLbCT6DjBk-gL2QH0ErhAuOZ2L8-Qoq9anJgZXJMyqSUB2UzPIXV5TqRUMK6rmUuBM8S-SByCbuUk7hWELVJuORhGGHqnPXsTslg8ADqeCuN/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- MOPT. (2016). *MAV-2016: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica. Guía para Profesionales*. Recuperado de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/850>

- Quirós, R. J. (2015). *Desarrollo de modelos estadísticos para la determinación de respuestas mecánicas críticas en pavimentos rígidos*. [San José], Costa Rica.
- República de Costa Rica. *Reglamento al Artículo 6 de la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria No.8114.* , Pub. L. No. Ley 8114 (2012).
- Ricci, E, Meyer, A, Hudson, W, & Stokoe II, K. (1985). *The Falling Weight Deflectometer for nondestructive evaluation of rigid pavements* (N.º FHWA/TX-86/44+387-3F; p. 102). Texas, Estados Unidos: Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin.
- Sanabria, J., Barrantes, R., & Loría, L. G. (2017). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica, años 2016-2017* [Reporte Técnico]. Recuperado de Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR website: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/26>
- Shoukry, S, William, G, & Riad, M. (2005). *Evaluation of Load Transfer Efficiency Measurement* (N.º WVU-2002-04). West Virginia University.

--- página en blanco ---

APÉNDICES

Apéndice A. Mapas de indicadores de condición técnica de Cañas - Liberia 2019

A continuación, se presentan mapas con los indicadores de calificación técnica de pavimentos rígidos correspondientes al procesamiento de los datos de los informes de ensayo mostrados en el Capítulo V. Además, se presentan con sus respectivos rangos de calificación representados por colores según la nota de cada indicador (FLT, IRI, LTE, PCI), para cada sentido y sin agrupar por tramos homogéneos, es decir, son los valores directamente tomados y filtrados con las especificaciones de ensayo.

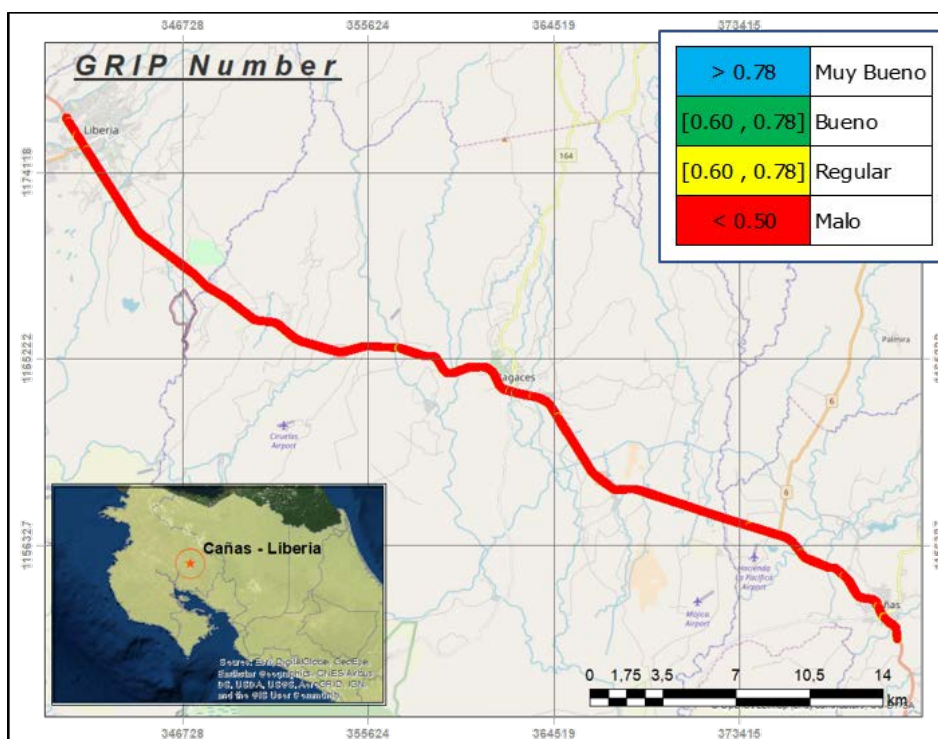


Figura 27. Calificación por GN para la carretera Cañas – Liberia

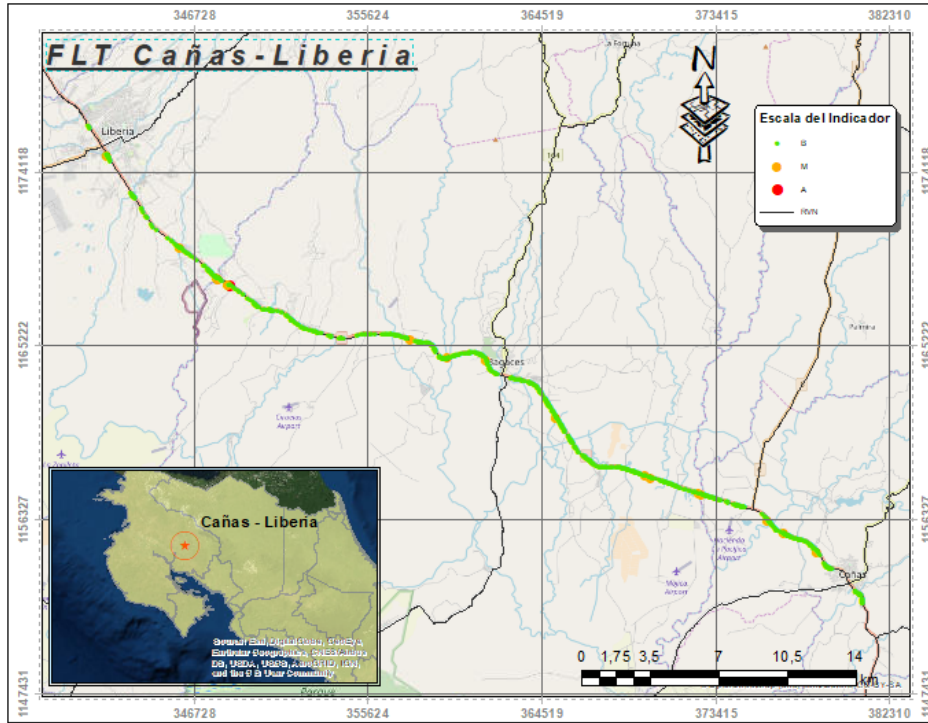


Figura 28. Calificación por FLT en sentido Cañas – Liberia

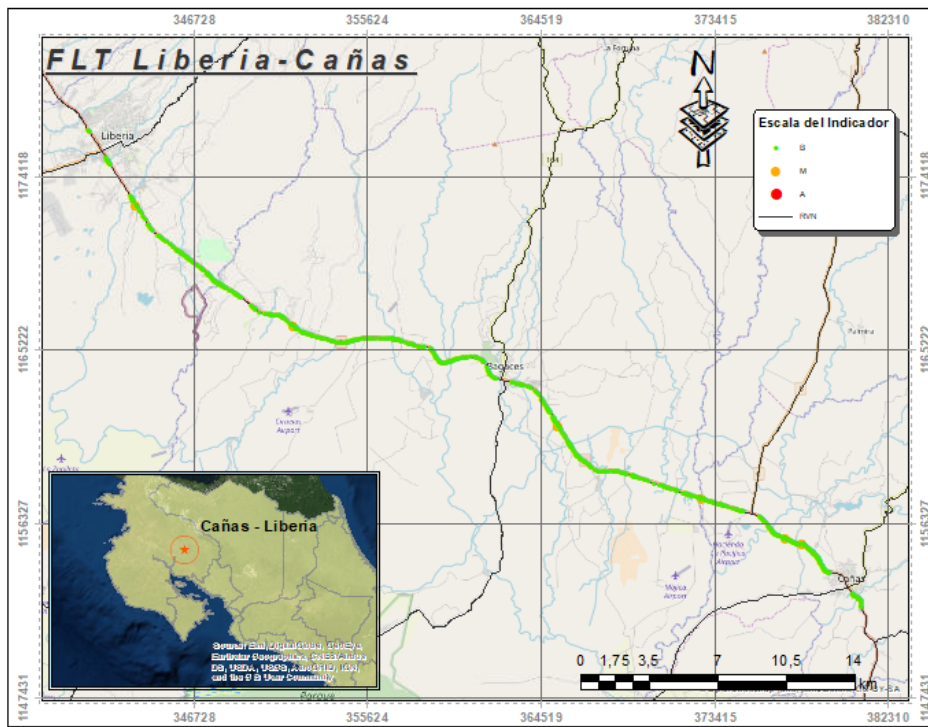


Figura 29. Calificación por FLT en sentido Liberia – Cañas

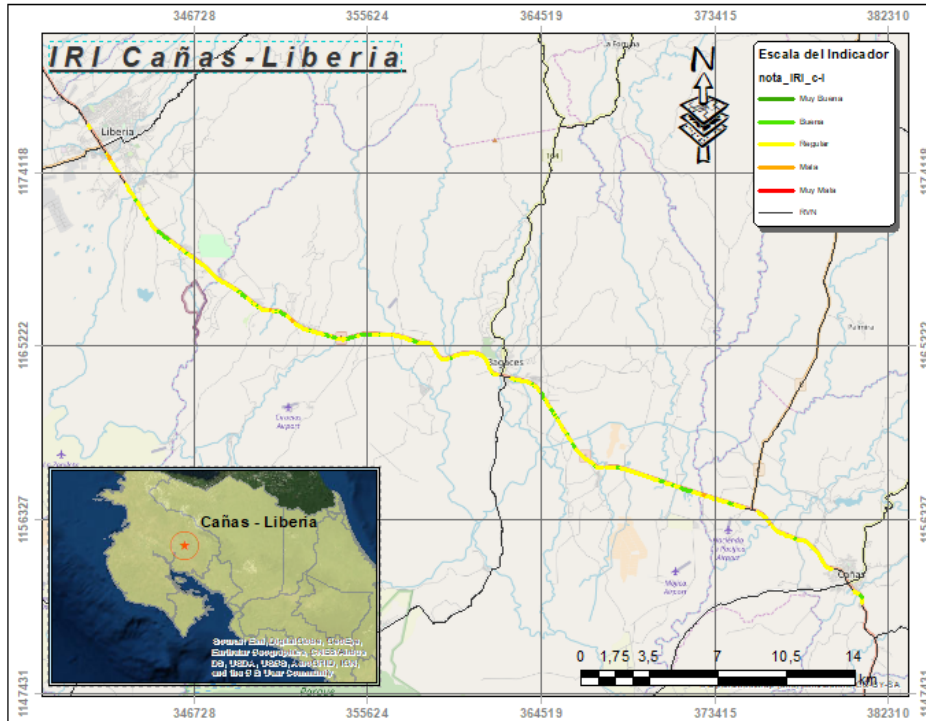


Figura 30. Calificación por IRI en sentido Cañas – Liberia

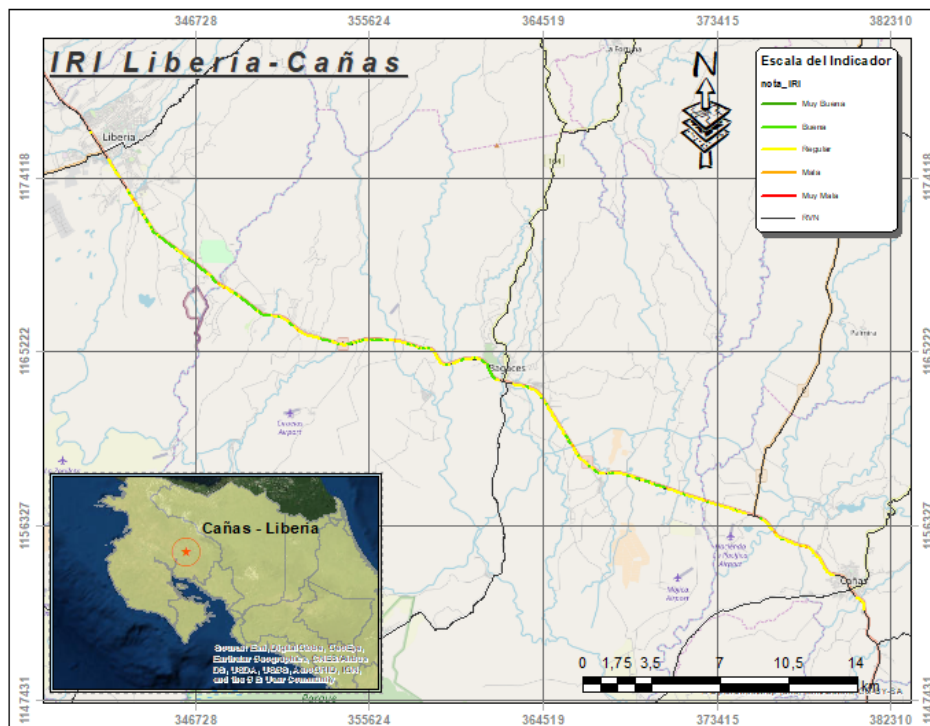


Figura 31. Calificación por IRI en sentido Liberia – Cañas

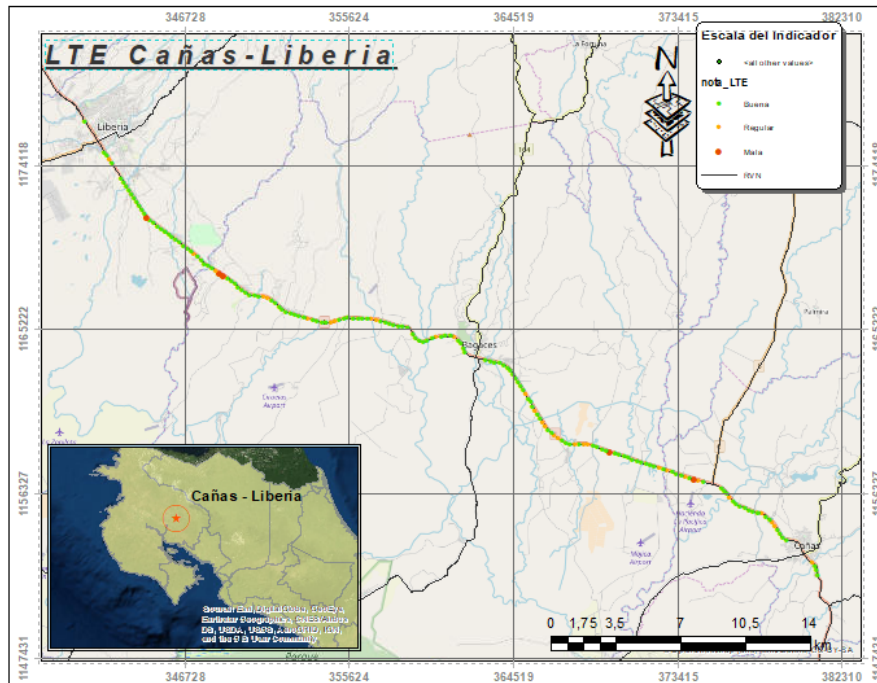


Figura 32. Calificación por LTE en sentido Cañas – Liberia

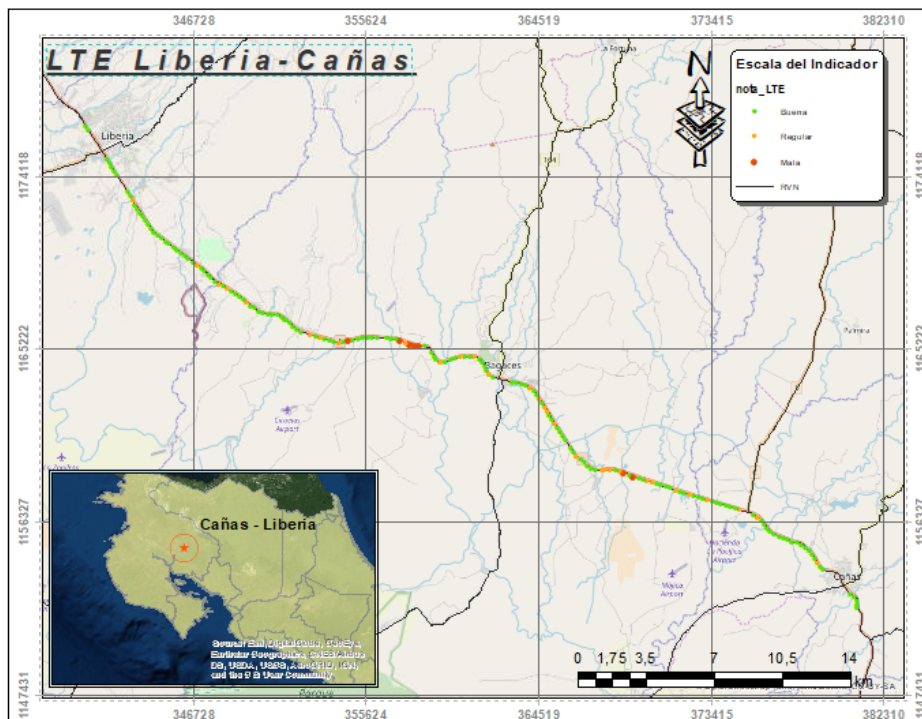


Figura 33. Calificación por LTE en sentido Liberia – Cañas

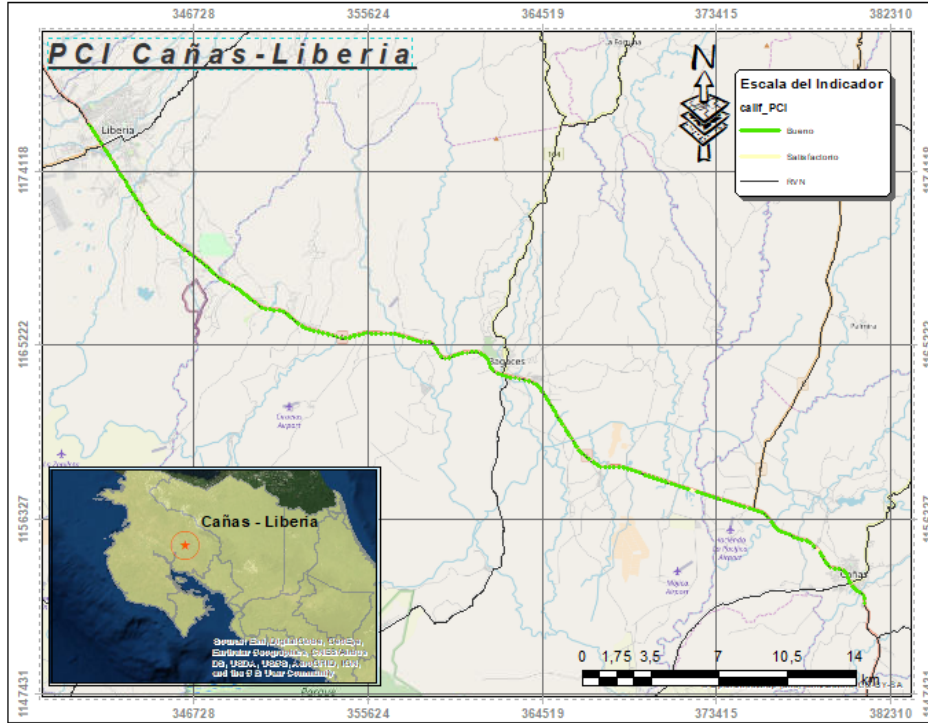


Figura 34. Calificación por PCI en sentido Cañas – Liberia

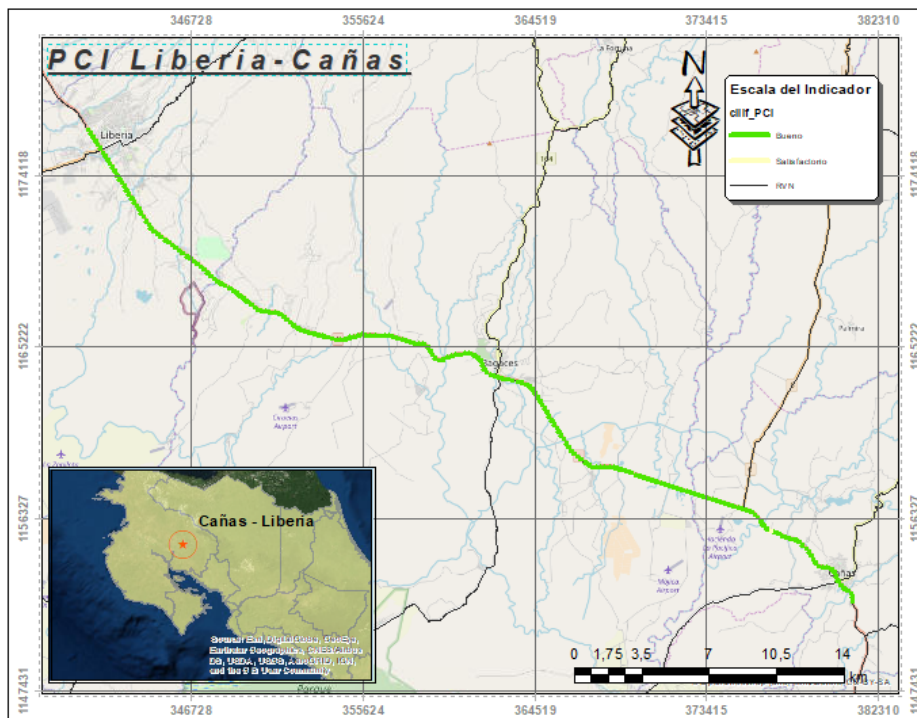


Figura 35. Calificación por PCI en sentido Liberia – Cañas

Apéndice B. Lista de singularidades y sectores en Ruta Nacional 1 en Cañas - Liberia

Cuadro 24. Listado de estructuras sobre Cañas - Liberia

No.	Singularidad	Est. Inicio (m)	Est. Fin (m)	Longitud (m)
1	Puente01	164+077	164+149	71
2	Paso01	164+427	166+102	1 675
3	Puente02	167+583	167+622	38
4	Puente03	168+563	168+591	29
5	Puente04	170+106	170+193	86
6	Paso02	171+100	171+800	700
7	Puente05	174+041	174+106	65
8	Puente06	176+128	176+174	47
9	Puente07	179+291	179+341	50
10	Puente08	181+562	181+599	37
11	Puente09	182+952	182+982	31
12	Puente10	186+161	186+195	35
13	Paso03	186+314	186+994	680
14	Puente11	190+006	190+074	68
15	Puente12	193+375	193+423	48
16	Puente13	198+715	198+737	22
17	Puente14	199+983	200+011	29
18	Puente15	203+098	203+157	59
19	Puente16	205+646	205+684	38
20	Puente17	209+381	209+416	35
21	Paso04	210+107	210+796	689
22	Puente18	211+661	211+717	56
23	Paso05	211+938	213+487	1 549

Cuadro 25. Listado de sectores sobre Cañas - Liberia

Sectores	Est. Inicio (m)	Est. Fin (m)	Longitud (m)
s1	163+590	164+427	837
s2	166+102	171+100	4998
s3	171+800	186+314	14514
s4	186+994	210+107	23112
s5	210+796	211+938	1142
s6	213+487	213+607	120

Apéndice C. Cálculo de longitud mínima por sector para Cañas – Liberia, 2019

A continuación, se presentan los valores de cálculo correspondientes a la determinación de la longitud mínima para tramos homogéneos de la ruta evaluada. Se tienen las siguientes constantes de cálculo: 20 losas de 4,15 m; $s=15$, $e=5$.

Cuadro 26. Primera iteración para el cálculo de longitud mínima de tramos homogéneos

Sector	long_m	divisiones	L_tramo	L_UM	N	n	n_rev	L_min_m
s1	837	1	837	83	10,1	9	9	747
s2	4998	1	4998	83	60,2	23	23	1909
s3	14514	1	14514	83	174,9	30	Crear tramos $N \leq 100$	iterar
s4	23112	1	23112	83	278,5	32	Crear tramos $N \leq 100$	iterar
s5	1142	1	1142	83	13,8	11	11	913
s6	120	1	120	83	1,4	2	Evaluar todas las unidades	120

Cuadro 27. Última iteración para el cálculo de longitud mínima de tramos homogéneos

Sector	long_m	divisiones	L_tramo	L_UM	N	n	n_rev	L_min_m
s1	837	1	837	83	10,1	9	9	747
s2	4998	1	4998	83	60,2	23	23	1909
s3	14514	2	7257	83	87,4	26	26	2158
s4	23112	3	7704	83	92,8	27	27	2241
s5	1142	1	1142	83	13,8	11	11	913
s6	120	1	120	83	1,4	2	Evaluar todas las unidades	120

Apéndice D. Suberfiles a partir de diferencias acumuladas para Cañas – Liberia, 2019

Los siguientes gráficos representan el perfil longitudinal obtenido con el método de diferencias acumuladas en cada sentido con los indicadores de FLT e IRI.

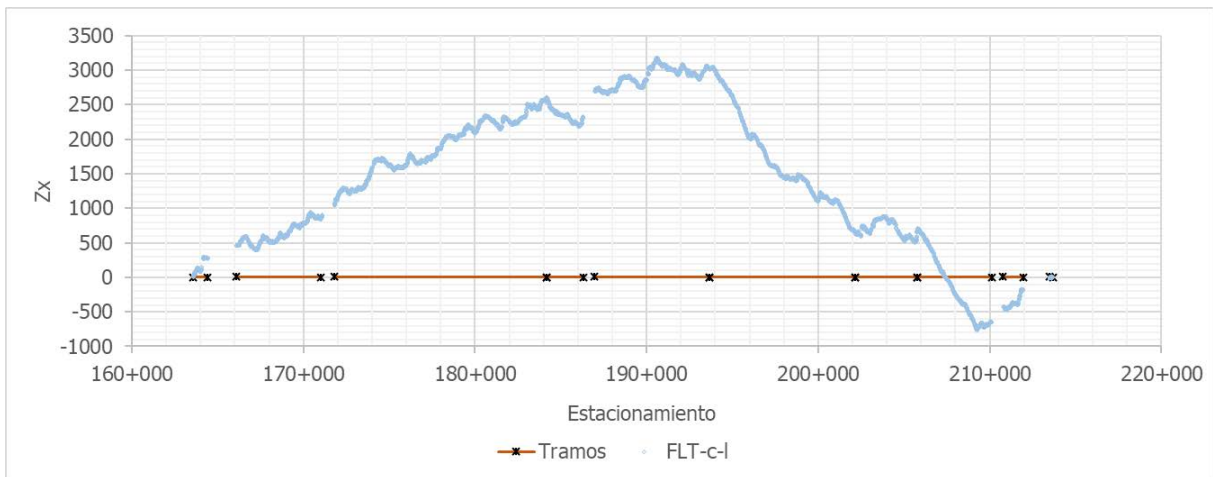


Figura 36. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de FLT para el sentido Cañas - Liberia

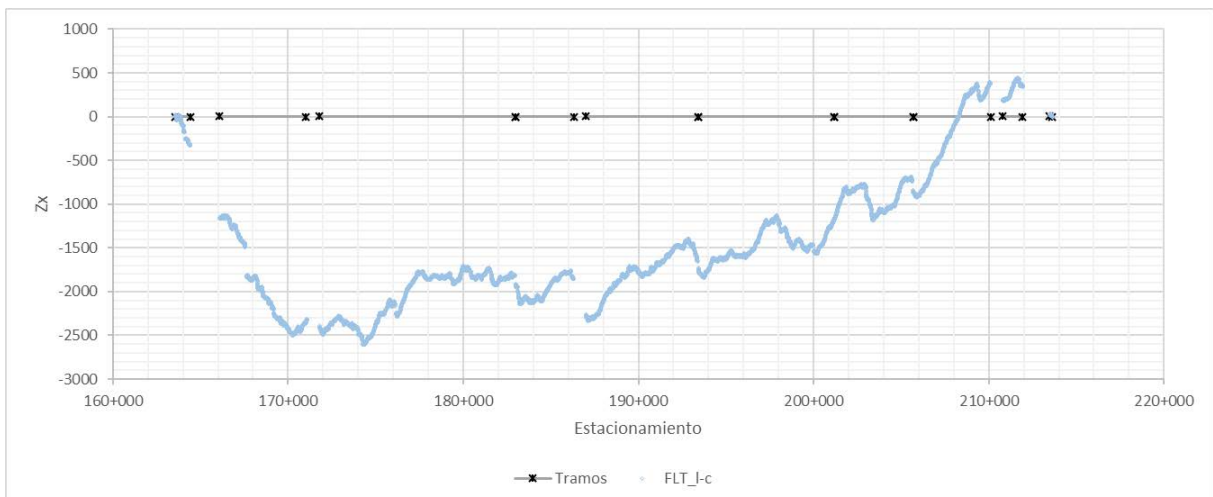


Figura 37. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de FLT para el sentido Liberia – Cañas

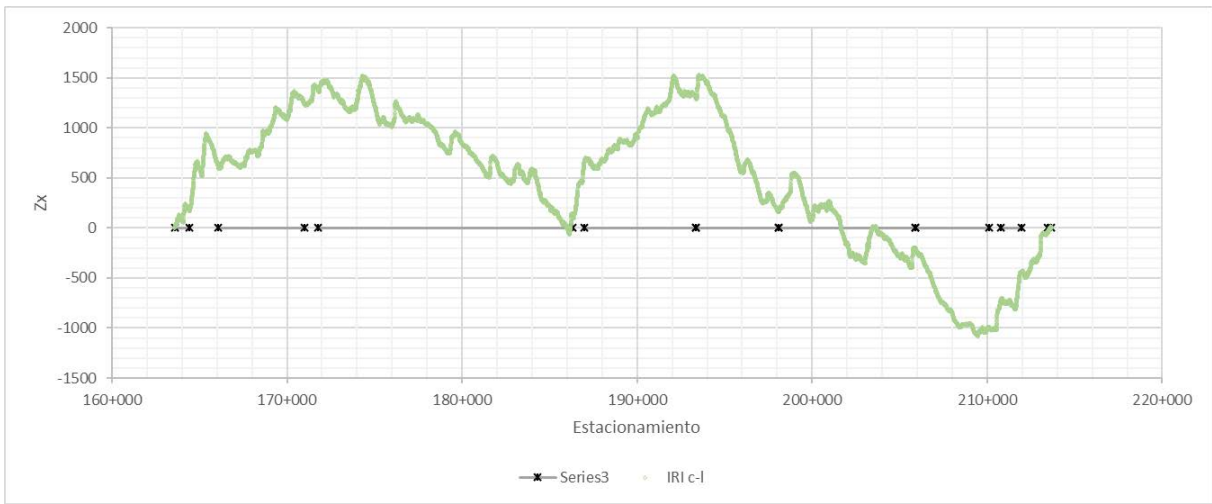


Figura 38. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de IRI para el sentido Cañas – Liberia

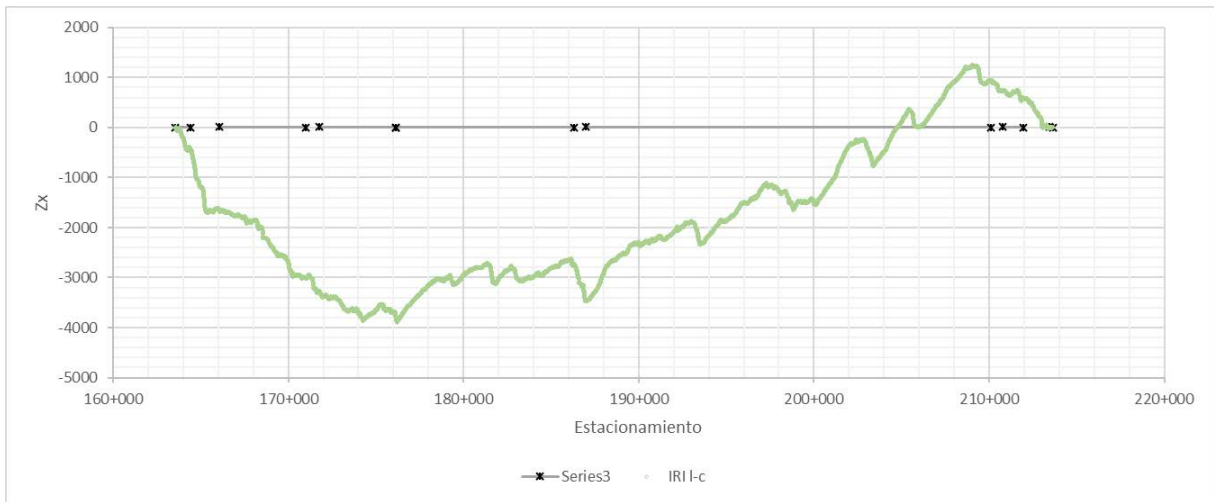


Figura 39. Tramos Homogéneos con el método de Diferencias Acumuladas a partir de IRI para el sentido Liberia – Cañas

Apéndice E. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector en Cañas – Liberia

A continuación, se muestran los cuadros con la revisión y reasignación de tramos homogéneos para que cumplan con la longitud mínima establecida, se identifica el sentido de análisis en la primera fila, y en la última columna de cada cuadro se muestra en rojo cual tramo debe reasignarse a sus consecutivos.

Cuadro 28. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector, sentido Cañas - Liberia

Tramos Homogéneos Cañas - Liberia								
ID	sentido	id_tramo	Est_inicio_m	Est_fin_m	Long_m	sector	L_min	Reasignar
1	Cañas-Liberia	5_r1.1_001	163+585	164+427	842	s1	747	no
2	Cañas-Liberia	5_r1.1_002	166+102	171+016	4914	s2	1909	no
3	Cañas-Liberia	5_r1.1_003	171+800	184+150	12350	s3	2158	no
4	Cañas-Liberia	5_r1.1_004	184+150	186+314	2164	s3	2158	no
5	Cañas-Liberia	5_r1.1_005	186+994	193+374	6380	s4	2241	no
6	Cañas-Liberia	5_r1.1_006	193+374	193+650	276	s4	2241	SI
7	Cañas-Liberia	5_r1.1_007	193+650	198+080	4430	s4	2241	no
8	Cañas-Liberia	5_r1.1_008	198+080	202+150	4070	s4	2241	no
9	Cañas-Liberia	5_r1.1_009	202+150	205+748	3598	s4	2241	no
10	Cañas-Liberia	5_r1.1_010	205+748	205+900	152	s4	2241	SI
11	Cañas-Liberia	5_r1.1_011	205+900	210+107	4207	s4	2241	no
12	Cañas-Liberia	5_r1.1_012	210+796	211+938	1142	s5	913	no
13	Cañas-Liberia	5_r1.1_013	213+487	213+677	190	s6	120	no

Reasignación de Tramos Homogéneos Cañas - Liberia								
ID	sentido	id_tramo	Est_inicio_m	Est_fin_m	Long_m	sector	L_min	Reasignar
1	Cañas-Liberia	5_r1.1_001	163+585	164+427	842	s1	747	no
2	Cañas-Liberia	5_r1.1_002	166+102	171+016	4914	s2	1909	no
3	Cañas-Liberia	5_r1.1_003	171+800	184+150	12350	s3	2158	no
4	Cañas-Liberia	5_r1.1_004	184+150	186+314	2164	s3	2158	no
5	Cañas-Liberia	5_r1.1_005	186+994	193+512	6518	s4	2241	no
6	Cañas-Liberia	Reasignado						
7	Cañas-Liberia	5_r1.1_006	193+512	198+080	4568	s4	2241	no
8	Cañas-Liberia	5_r1.1_007	198+080	202+150	4070	s4	2241	no
9	Cañas-Liberia	5_r1.1_008	202+150	205+824	3674	s4	2241	no
	Cañas-Liberia	Reasignado						
11	Cañas-Liberia	5_r1.1_009	205+824	210+107	4283	s4	2241	no
12	Cañas-Liberia	5_r1.1_010	210+796	211+938	1142	s5	913	no
13	Cañas-Liberia	5_r1.1_011	213+487	213+677	190	s6	120	no

Cuadro 29. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector, sentido Liberia - Cañas

Tramos Homogéneos Liberia - Cañas								
ID	sentido	id_tramo	Est_inicio_m	Est_fin_m	Long_m	sector	L_min	Reasignar
1	Liberia-Cañas	5_r1.2_001	163+555	164+427	872	s1	747	no
2	Liberia-Cañas	5_r1.2_002	166+102	171+016	4914	s2	1909	no
3	Liberia-Cañas	5_r1.2_003	171+800	176+126	4326	s3	2158	no
4	Liberia-Cañas	5_r1.2_004	176+126	182+985	6859	s3	2158	no
5	Liberia-Cañas	5_r1.2_005	182+985	186+314	3329	s3	2158	no
6	Liberia-Cañas	5_r1.2_006	186+994	193+400	6406	s4	2241	no
7	Liberia-Cañas	5_r1.2_007	193+400	201+200	7800	s4	2241	no
8	Liberia-Cañas	5_r1.2_008	201+200	205+690	4490	s4	2241	no
9	Liberia-Cañas	5_r1.2_009	205+690	210+107	4417	s4	2241	no
10	Liberia-Cañas	5_r1.2_010	210+796	211+938	1142	s5	913	no
11	Liberia-Cañas	5_r1.2_011	213+487	213+641	154	s6	120	no

Tramos Homogéneos ambos sentidos								
ID	sentido	id_tramo	Est_inicio_m	Est_fin_m	Long_m	sector	L_min	Reasignar
1	Unificados	5_r1.0_001	163+555	164+427	872	s1	747	no
2	Unificados	5_r1.0_002	166+102	171+016	4914	s2	1909	no
3	Unificados	5_r1.0_003	171+800	176+126	4326	s3	2158	no
4	Unificados	5_r1.0_004	176+126	182+985	6859	s3	2158	no
5	Unificados	5_r1.0_005	182+985	184+150	1165	s3	2158	SI
6	Unificados	5_r1.0_006	184+150	186+314	2164	s3	2158	no
7	Unificados	5_r1.0_007	186+994	193+400	6406	s4	2241	no
8	Unificados	5_r1.0_008	193+400	193+512	112	s4	2241	SI
9	Unificados	5_r1.0_009	193+512	198+080	4568	s4	2241	no
10	Unificados	5_r1.0_010	198+080	201+200	3120	s4	2241	no
11	Unificados	5_r1.0_011	201+200	202+150	950	s4	2241	SI
12	Unificados	5_r1.0_012	202+150	205+690	3540	s4	2241	no
13	Unificados	5_r1.0_013	205+690	205+824	134	s4	2241	SI
14	Unificados	5_r1.0_014	205+824	210+107	4283	s4	2241	no
15	Unificados	5_r1.0_015	210+796	211+938	1142	s5	913	no
16	Unificados	5_r1.0_016	213+487	213+677	190	s6	120	no

Cuadro 30. Reasignación de tramos homogéneos por criterio de longitud mínima en cada sector, ambos sentidos

Tramos Homogéneos ambos sentidos								
ID	sentido	id_tramo	Est_inicio_m	Est_fin_m	Long_m	sector	L_min	Reasignar
1	Unificados	5_r1.0_001	163+555	164+427	872	s1	747	no
2	Unificados	5_r1.0_002	166+102	171+016	4914	s2	1909	no
3	Unificados	5_r1.0_003	171+800	176+126	4326	s3	2158	no
4	Unificados	5_r1.0_004	176+126	183+568	7442	s3	2158	no
5	Unificados	Reasignado						
6	Unificados	5_r1.0_005	183+568	186+314	2747	s3	2158	no
7	Unificados	5_r1.0_006	186+994	193+456	6462	s4	2241	no
8	Unificados	Reasignado						
9	Unificados	5_r1.0_007	193+456	198+080	4624	s4	2241	no
10	Unificados	5_r1.0_008	198+080	201+675	3595	s4	2241	no
11	Unificados	Reasignado						
12	Unificados	5_r1.0_009	201+675	205+757	4082	s4	2241	no
13	Unificados	Reasignado						
14	Unificados	5_r1.0_010	205+757	210+107	4350	s4	2241	no
15	Unificados	5_r1.0_011	210+796	211+938	1142	s5	913	no
16	Unificados	5_r1.0_012	213+487	213+677	190	s6	120	no

Apéndice F. Análisis estadístico comparativo de LTE

La información del presente apéndice, se obtuvo con el uso del software Minitab, utilizado en este caso para el análisis estadístico del indicador LTE en Cañas – Liberia.

Las siguientes dos figuras muestran el ajuste de normalidad de las muestras de LTE para un tramo de prueba comparativo. Para la prueba, se utilizó un nivel de significancia de 5%.

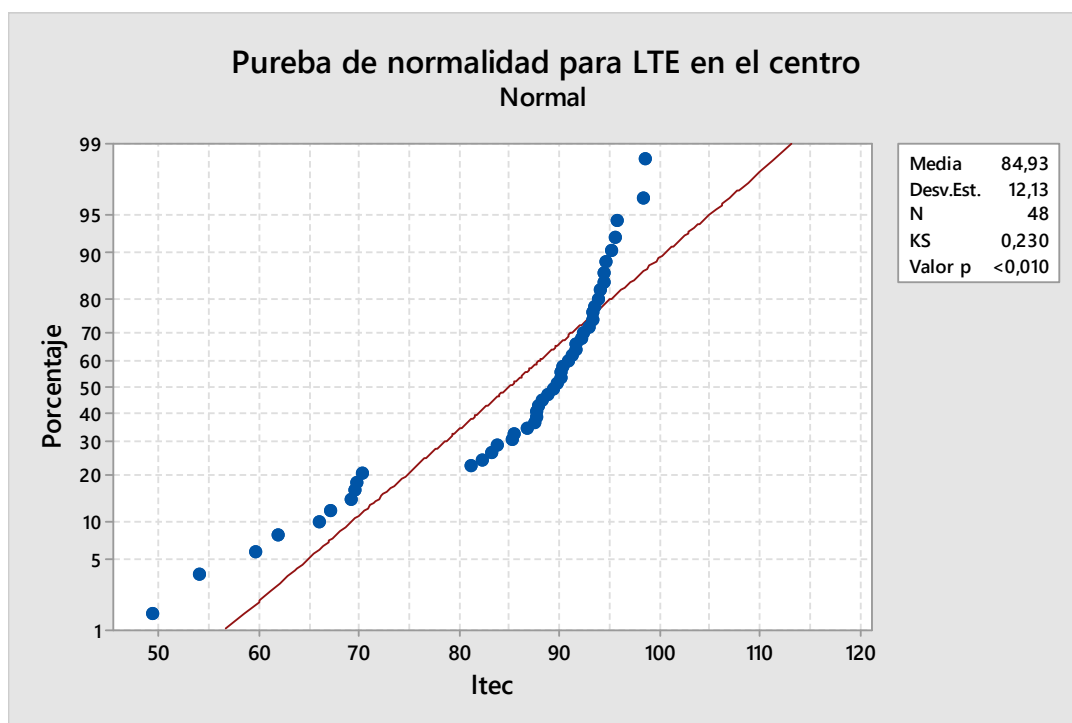


Figura 40. Prueba de normalidad para LTE en el centro

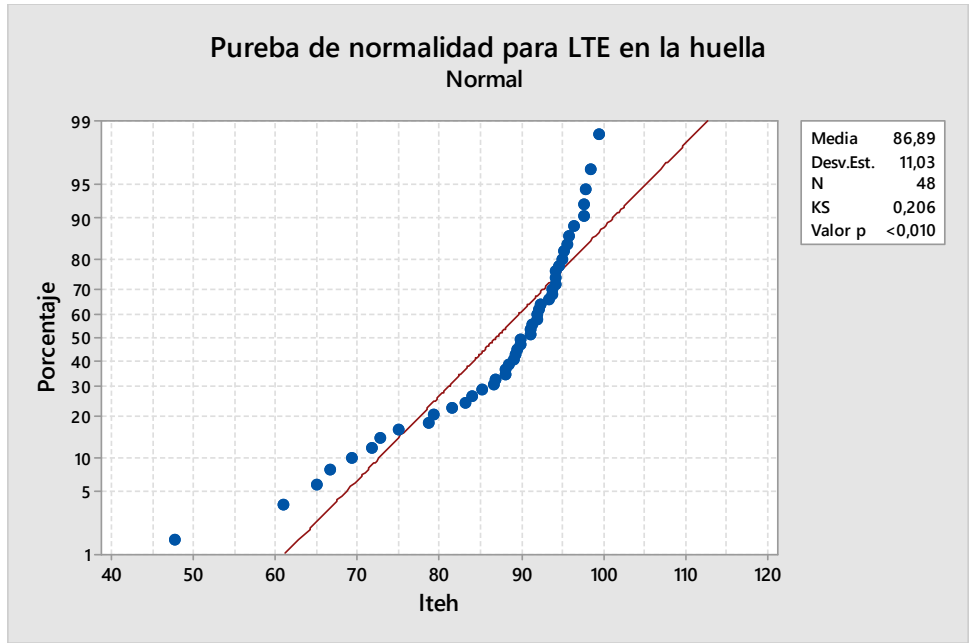


Figura 41. Prueba de normalidad para LTE en la huella

En ambos casos se obtuvo la condición de **Valor p ≤ 0,01**. Si el valor p es menor que o igual al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que sus datos no siguen una distribución normal; por lo tanto, ninguna de las dos muestras sigue una distribución normal.

Posteriormente, con la finalidad de comparar si las medias de las dos muestras son diferentes, se realizó la prueba de Anova de un solo factor, y se obtuvo el resultado que se muestra en la Figura 42, y se resumen los resultados a continuación:

Resumen del Modelo

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

No se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Prueba de Welch

	GL			
Fuente	Num	GL Den	Valor F	Valor p
Factor	1	93,1687	0,69	0,410

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
ltec	48	84,93	12,13	(81,40; 88,45)
lteh	48	86,89	11,03	(83,68; 90,09)

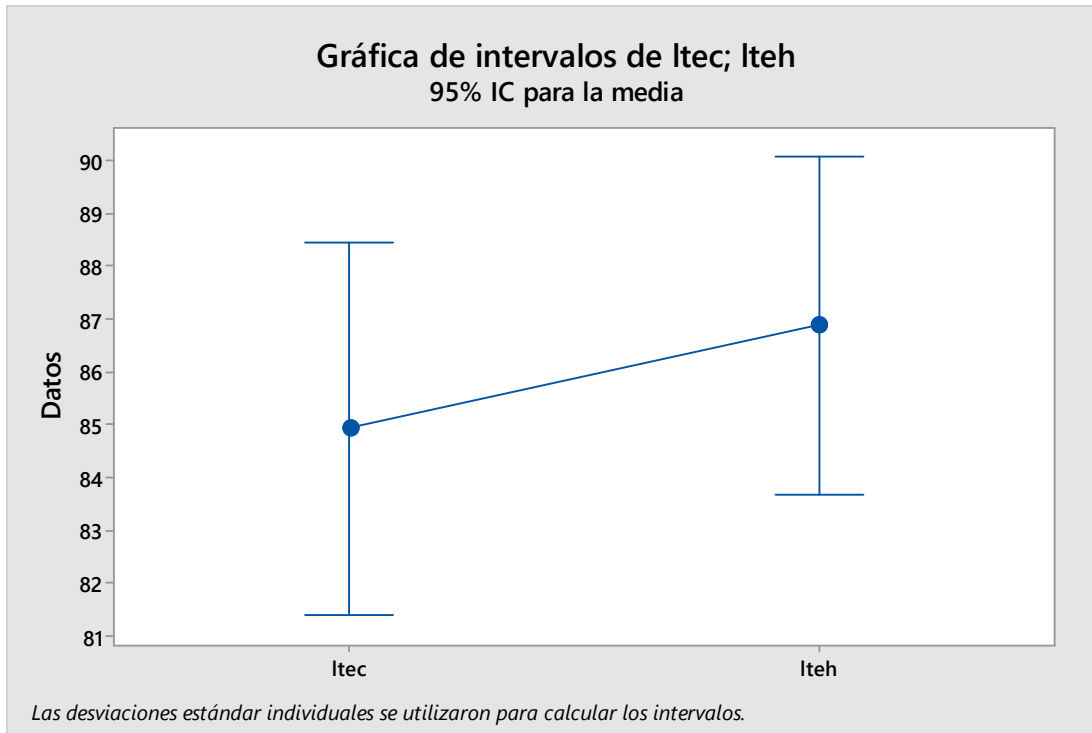


Figura 42. Prueba Anova de un solo factor para LTE en el centro y en la huella

Dado que el valor $p > \alpha$: Las diferencias entre las medias no son estadísticamente significativas, es decir, no se cuenta con suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de que las medias de población son todas iguales.

A partir de este resultado, se validan los datos de LTE calculados en el centro, para representar las condiciones de medición sobre la huella, ya que presentan valores estadísticamente similares en cuanto a la media. Con esto se procede a analizar los datos ensayados con deflectometría para todo Cañas – Liberia.

Identificación de la distribución para LTE

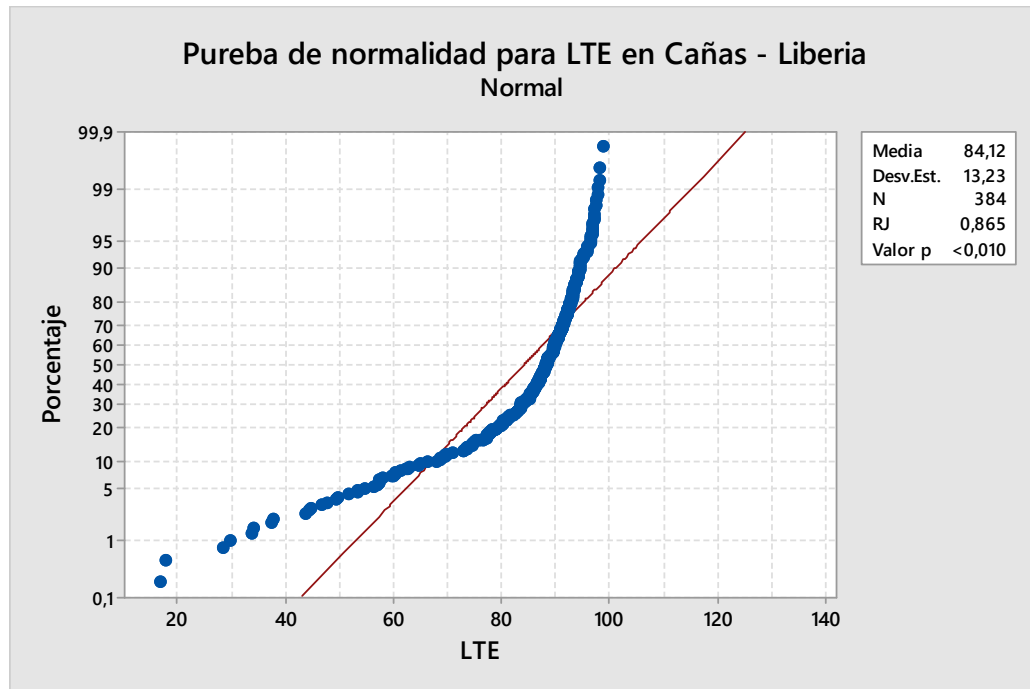


Figura 43. Prueba de normalidad para LTE en el centro de las losas, en todo Cañas - Liberia

Como se mencionó anteriormente, el valor de p es menor que el nivel de significancia, por lo que se considera que la distribución de los datos no se ajusta a una distribución Normal; y se procede a analizar las opciones para aplicar un ajuste para obtener datos normales. Los resultados de las pruebas de bondad de ajuste para una transformación, se presentan a continuación.

Prueba de bondad del ajuste

Distribución	AD	P	LRT P
Normal	29,211	<0,005	
Transformación Box-Cox	4,680	<0,005	
Lognormal	44,547	<0,005	
Lognormal de 3 parámetros	29,241	*	0,000
Exponencial	133,331	<0,003	
Exponencial de 2 parámetros	123,537	<0,010	0,000
Weibull	16,071	<0,010	
Weibull de 3 parámetros	8,963	<0,005	0,000
Valor extremo más pequeño	8,915	<0,010	
Valor extremo por máximos	50,816	<0,010	
Gamma	39,075	<0,005	
Gamma de 3 parámetros	32,217	*	0,000
Logística	16,839	<0,005	
Loglogística	24,199	<0,005	
Loglogística de 3 parámetros	16,886	*	0,000
Transformación de Johnson	0,409	0,345	

Por lo tanto, se recomienda una Transformación de Johnson, ya que se tiene un valor de $p = 0,345 > \alpha = 0,05$. Para todas las demás pruebas y transformaciones no se obtiene $p > \alpha$.

Hipótesis para Transformación de Johnson

Para la prueba de Anderson-Darling, las hipótesis son las siguientes:

- H_0 : Los datos siguen la distribución normal.
- H_1 : Los datos no siguen la distribución normal.

Se selecciona un valor $p=0,3$ para realizar un ajuste normal más riguroso (valores mayores no ejecutaron la transformación), y se obtienen los siguientes resultados para la transformación:

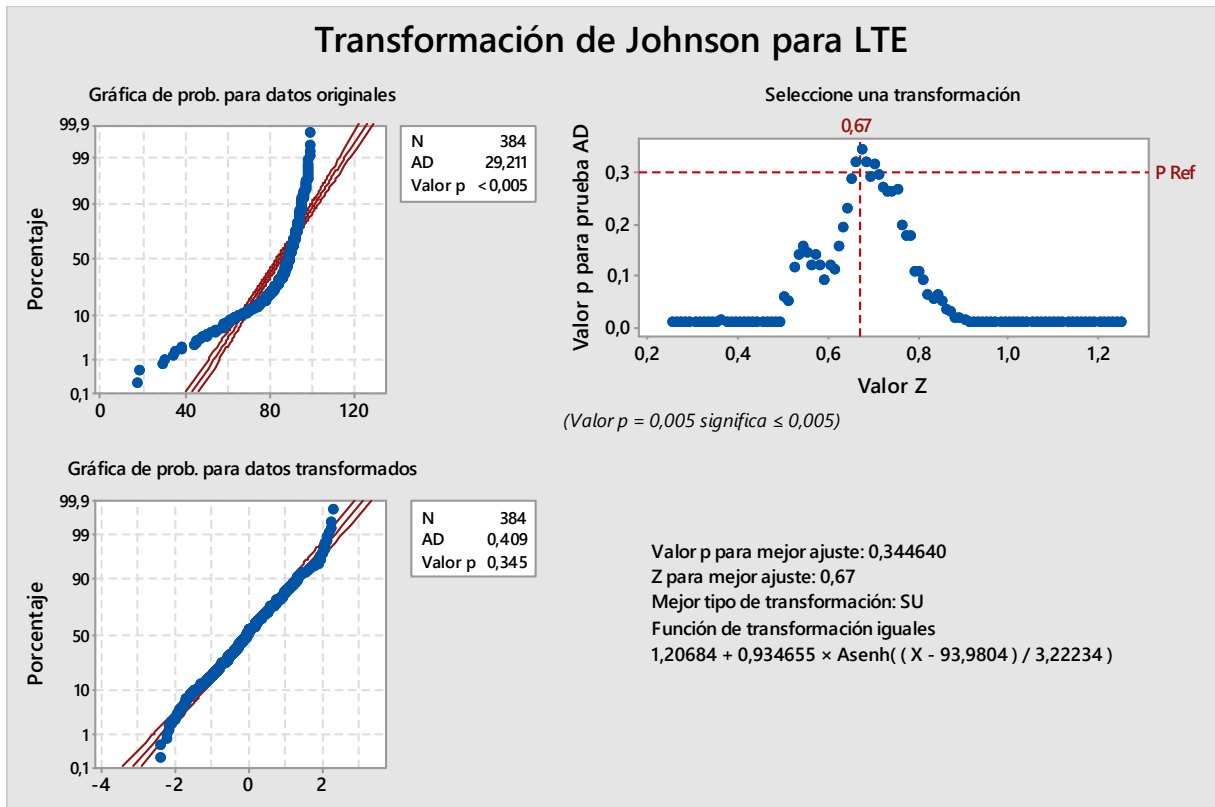


Figura 44. Transformación de Johnson para LTE en el centro de las losas, en todo Cañas - Liberia

Luego, se genera un histograma de los datos de LTE con la aplicación de la transformación, para obtener la media de los datos (ver siguiente figura); y finalmente, con un valor de media de -0,03160 y tras aplicar la transformación inversa, se calcula un valor medio de LTE de 88,347.

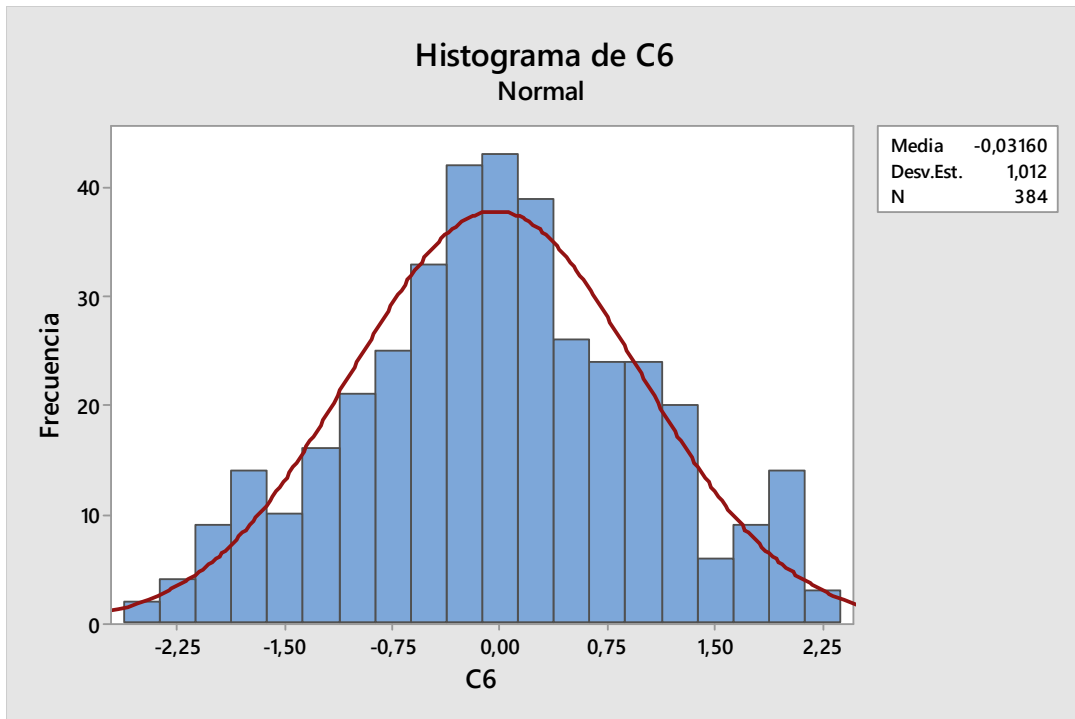


Figura 45. Hidrograma de la transformación de Johnson para LTE en el centro de las losas, en todo Cañas - Liberia

Este valor se considera como el representativo para todo Cañas – Liberia, y se justifica con el recién expuesto análisis estadístico. Cabe destacar, que este análisis, difiere de la metodología del modelo planteado, y únicamente se justifica su uso para validar los datos, que diferían levemente en configuración de ensayo, de lo propuesto en el modelo de evaluación de este proyecto.

--- página en blanco ---

ANEXOS

Anexo A. Clasificación de perfilómetros láser según ASTM - E950

La siguiente información es parte de la norma ASTM - E950 y detalla las clases de perfilómetros inerciales, según su capacidad de medición y resolución.

TABLE 1 Longitudinal Sampling

Class 1	less than or equal to 25 mm [1 in.]
Class 2	greater than 25 mm [1 in.] to 150 mm [6 in.]
Class 3	greater than 150 mm [6 in.] to 300 mm [12 in.]
Class 4	greater than 300 mm [12 in.]

TABLE 2 Vertical Measurement Resolution

Class 1	less than or equal to 0.1 mm [0.005 in.]
Class 2	greater than 0.1 mm [0.005 in.] to 0.2 mm [0.010 in.]
Class 3	greater than 0.2 mm [0.010 in.] to 0.5 mm [0.020 in.]
Class 4	greater than 0.5 mm [0.020 in.]

Anexo B. Ecuación de ajuste lineal para tres puntos

El siguiente método permite determinar una ecuación para una línea de tendencia a partir de tres puntos conocidos. La ecuación tiene la siguiente forma general:

$$y = m x + b$$

Dónde cada término representa:

x: variable independiente

y: variable dependiente

m: la pendiente

b: intercepción con el eje y.

Calculando la pendiente (m) de la línea de tendencia

Considera este conjunto de datos de tres puntos (x, y): (1, 3) (2, 5) (3, 6,5). Calcula n = el número de puntos de datos, que en este caso es 3.

Calcula a para que sea igual a n veces la sumatoria de todos los valores x multiplicados por sus correspondientes valores y, de esta manera:

$$a = 3 \times \{(1 \times 3) + (2 \times 5) + (3 \times 6,5)\} = 97,5$$

Calcula b igual a la suma de todos los valores x multiplicada por la suma de todos los valores y, de esta forma:

$$b = (1 + 2 + 3) \times (3 + 5 + 6,5) = 87$$

Calcula c igual a n veces la suma de todos los valores x elevados al cuadrado, de esta manera:

$$c = 3 \times (1^2 + 2^2 + 3^2) = 42$$

Calcula d igual al cuadrado de la suma de todos los valores x, de esta forma:

$$d = (1 + 2 + 3)^2 = 36$$

Sustituye los valores que calculaste para a, b, c y d dentro de la siguiente ecuación para obtener la pendiente m de la línea de regresión:

$$m = (a - b) / (c - d) = (97,5 - 87) / (42 - 36) = 10,5 / 6 = 1,75$$

Calculando la intercepción - y (b) de la línea de tendencia

Considera el mismo conjunto de datos. Calcula e igual a la suma de todos los valores y, de esta manera:

$$e = (3 + 5 + 6,5) = 14,5$$

Calcula f igual a la pendiente multiplicada por la suma de todos los valores x, como aparece a continuación:

$$f = 1,75 \times (1 + 2 + 3) = 10,5$$

Sustituye los valores que calculaste para e y f en la siguiente ecuación para la intercepción - y, b, de la línea de tendencia:

$$- y = b = (e - f) / n = (14,5 - 10,5) / 3 = 1,3$$

Sustituye tus valores para m y b dentro de la ecuación lineal para obtener la ecuación final de la línea de tendencia:

$$y = 1,75x + 1,3$$

Anexo C. Diagramas resumen para los cálculos de PCI según MAV-2016

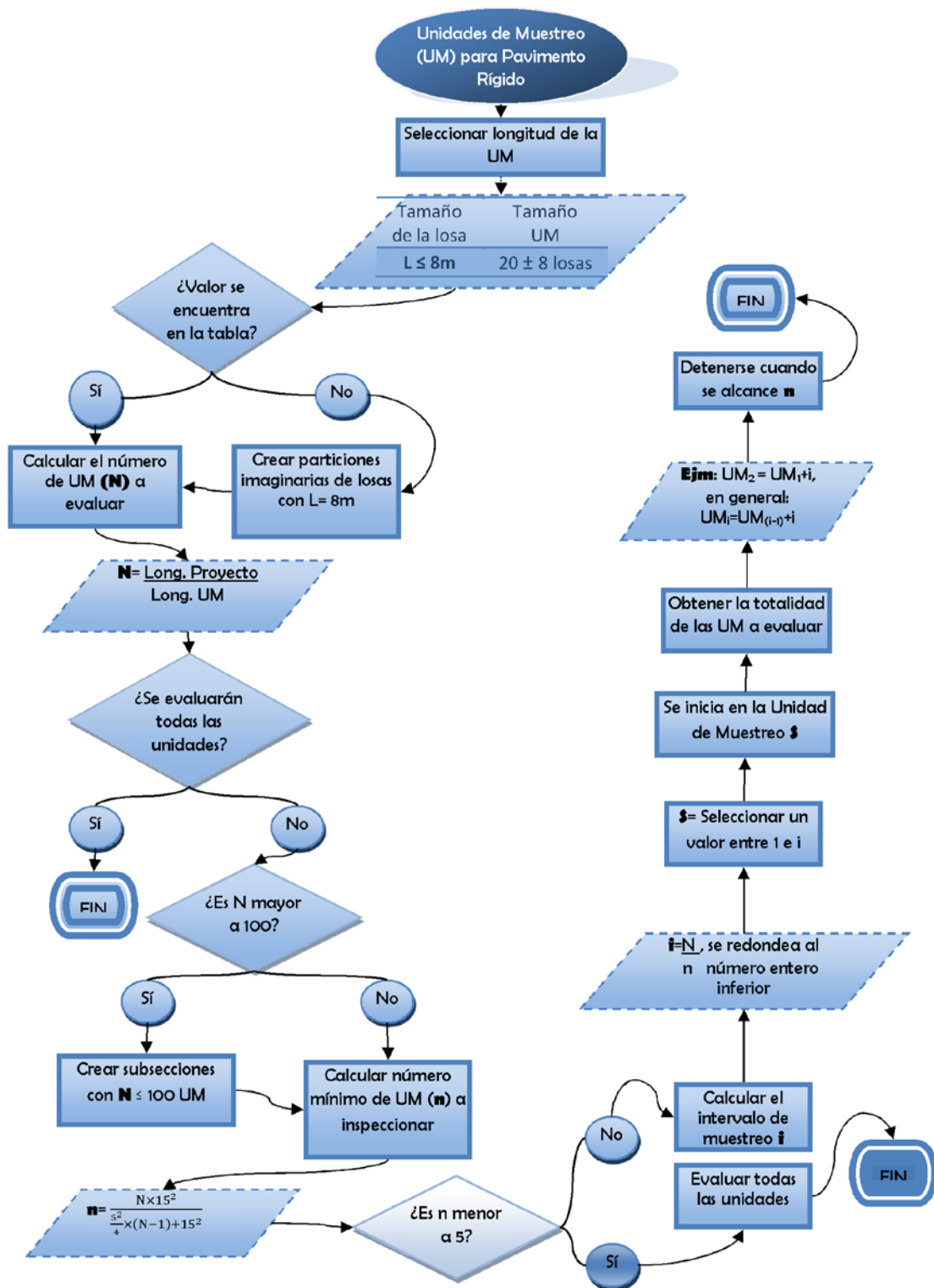


Figura 46. Diagrama de flujo para determinar las UM

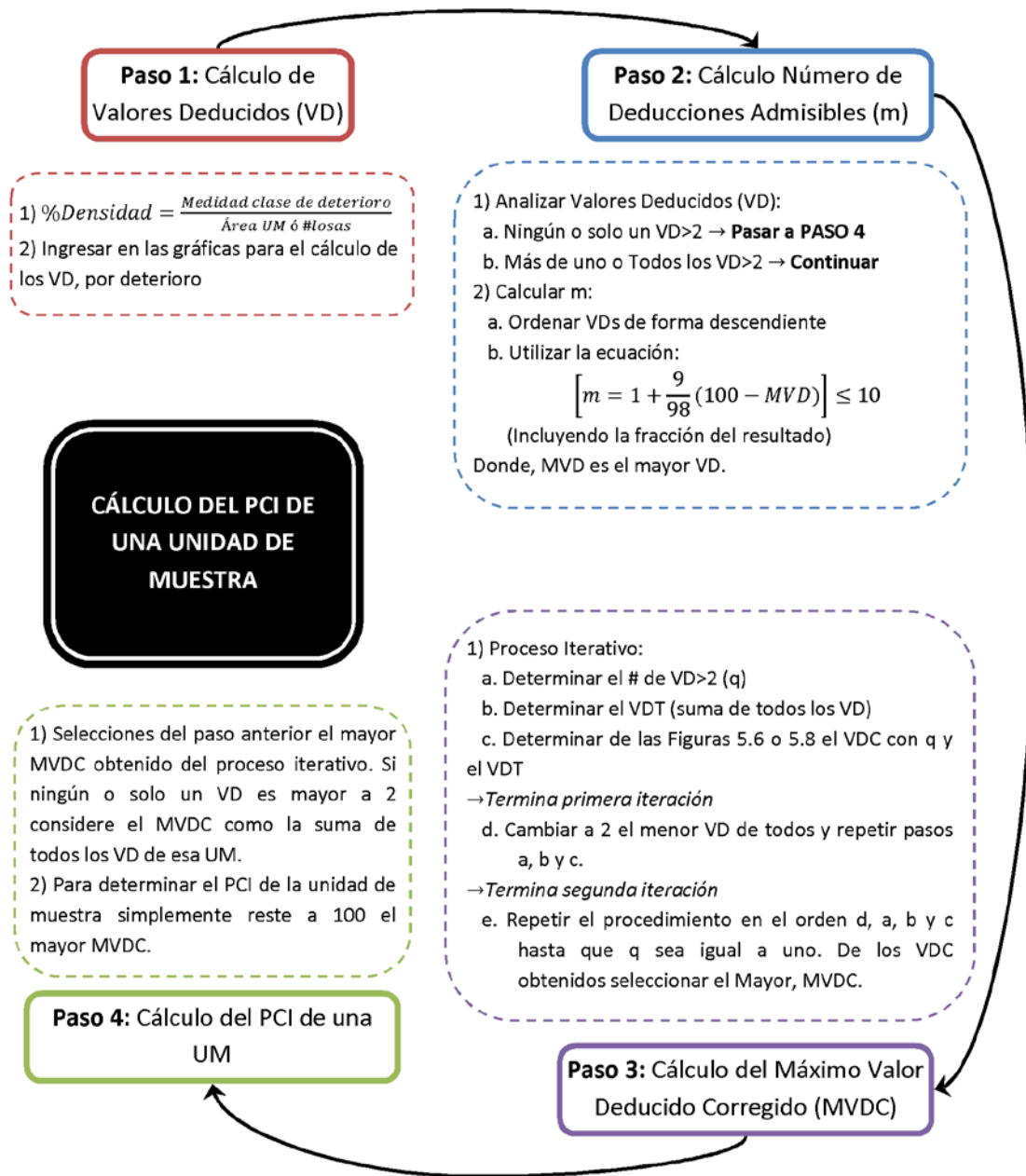


Figura 47. Diagrama de flujo para el cálculo de PCI de una UM

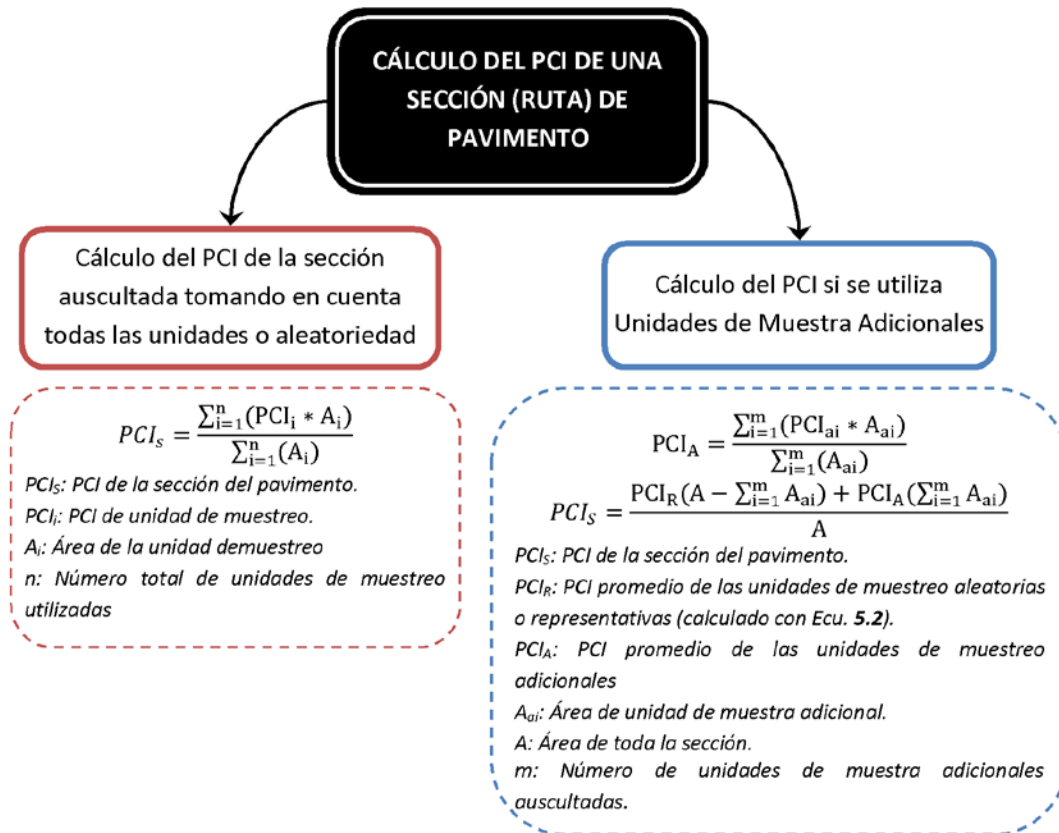


Figura 48. Diagrama de flujo para el cálculo de PCI de una sección o ruta

Anexo D. Método de diferencias acumuladas

El contenido del presente anexo, es parte del documento titulado “DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN CON BASE EN LA DETERMINACIÓN DE ÍNDICES RED VIAL NACIONAL” de los autores Barrantes, Sibaja & Porras.

CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS, METODOLOGÍA ASHTO-93 APLICADA A VALORES DE IRI DE LA RVN (Costa Rica 2008)

Metodología para la determinación de tramos homogéneos por el método de diferencias acumuladas. (AASHTO 1993)

3.1 Fundamentos

El método de las **Diferencias Acumuladas** es una herramienta que permite delimitar estadísticamente tramos homogéneos utilizando mediciones de repuesta del pavimento. La metodología es de fácil visualización y entendimiento, pero su ejecución manual es una tarea larga, ya que puede involucrar bases de datos de gran tamaño. A pesar de lo mencionado anteriormente su adaptación a soluciones computarizadas y análisis gráfico es sencilla. Este método se puede utilizar para una gran variedad de mediciones de respuesta de pavimentos como lo son deflexiones, serviciabilidad, fricción, índices de deterioro de pavimento, entre otros.

En la Figura 4 se muestra el concepto general del método de diferencias acumuladas, con suposiciones iniciales de valores de respuesta constantes y continuos (r_i) en varios intervalos (0 a x_1 ; x_1 a x_2 ; x_2 a x_3) del tramo en estudio. En la Figura 4(a) se observa claramente que existen 3 unidades con sus respectivos valores (r_1 , r_2 y r_3) a lo largo de la sección de estudio, y se observa que se pueden obtener valores o datos del tipo repuesta del pavimento - distancia. Si se quisiera determinar la tendencia que siguen las áreas acumuladas bajo las curvas de respuesta (línea continua en la Figura 4(b)), se obtiene un resultado como se muestra en la Figura 4(b). La línea continua indica el resultado real de los valores de respuesta del pavimento. Como las funciones son continuas y constantes en cada tramo o unidad, el área acumulada, a cualquier distancia x es simplemente la integral de cada valor de respuesta, como se muestra a continuación con la Ecuación 8.

$$A = \int_0^{x_1} r_1 dx + \int_0^{x_2} r_2 dx + \int_0^{x_3} r_3 dx$$

Ecuación 8

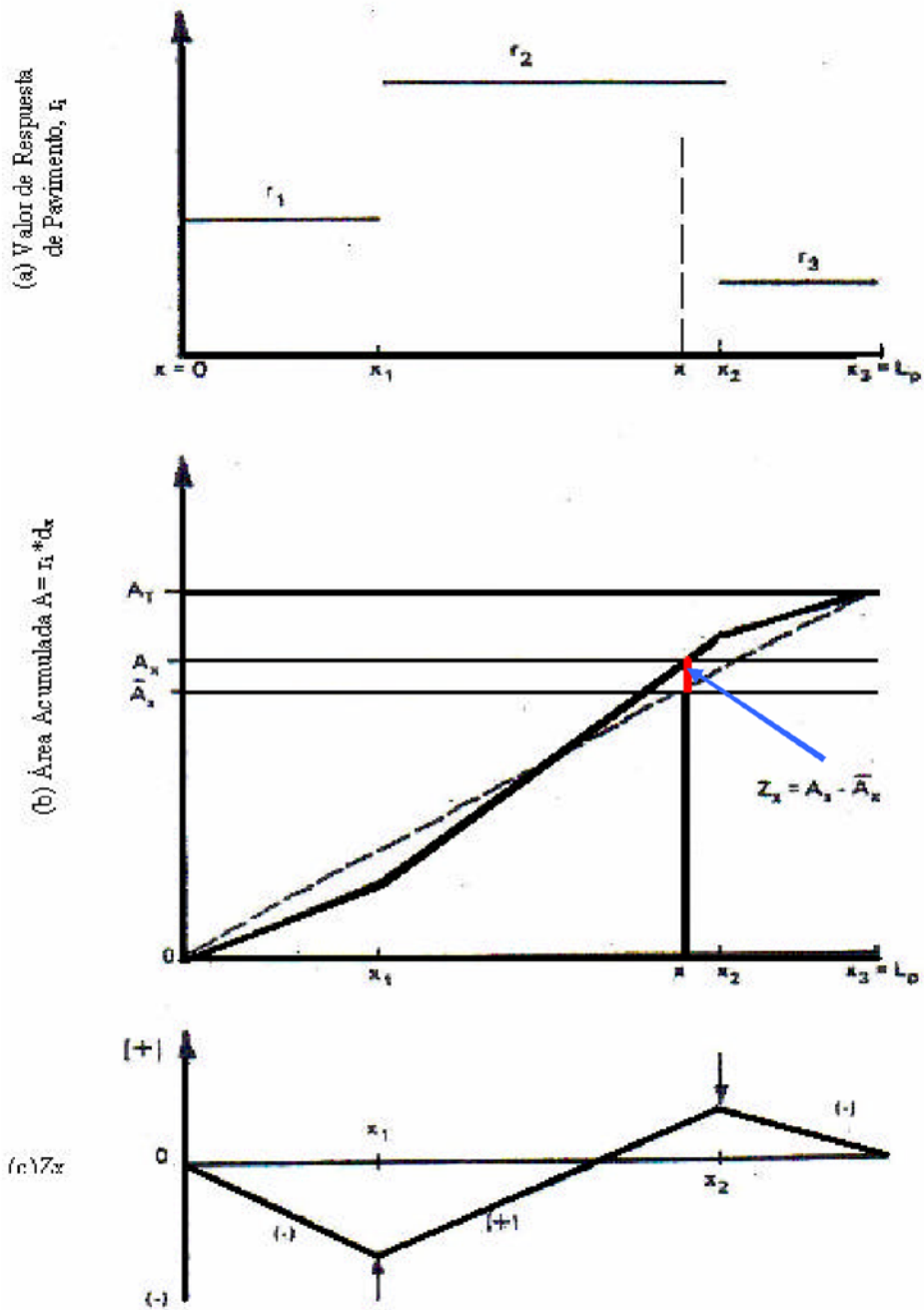


Figura 4: Conceptos del método de diferencias acumuladas para determinación de unidades homogéneas

Donde cada integral es continua en su respectivo intervalo:

$$(0 \leq x \leq x_1), (x_1 \leq x \leq x_2) y (x_2 \leq x \leq x_3)$$

En la Figura 4(b) la línea de rayas representa el área acumulada del valor de respuesta **promedio** del proyecto en estudio. Se debe mencionar que las pendientes de la curva de área acumulada son simplemente los valores de respuesta **para cada unidad** o tramo, mientras que la pendiente de la línea de rayas es el valor de respuesta **promedio** de proyecto en estudio. A cualquier distancia x , el área acumulada del valor de respuesta promedio se calcula como:

$$A = \int_0^x r dx$$

Ecuación 9

Se tiene que:

$$\bar{r} = \frac{\int_0^{x_1} r_1 dx + \int_0^{x_2} r_2 dx + \int_0^{x_3} r_3 dx}{L_p} = \frac{A_T}{L_p}$$

Ecuación 10

Por lo tanto,

$$\bar{A}_x = L_p \times \bar{r}$$

Ecuación 11

Conociendo A_x y \bar{A}_x se calcula la diferencia acumulada Z_x como:

$$Z_x = A_x - \bar{A}_x$$

Ecuación 12

Como se muestra en la Figura 4(b), Z_x es simplemente la diferencia en áreas acumuladas, para cualquier x , entre la línea real y línea promedio del proyecto, en la Figura 4(b) se muestra el área en rojo como la diferencia que existe entre A_x y \bar{A}_x . Si se grafica Z_x contra x se obtiene un resultado similar al que se muestra en la Figura 4(c). En la gráfica se observa

que cada límite de tramo o unidad coincide con el lugar de cambio de pendiente de Z_x (de positiva a negativa o viceversa). Este concepto fundamental es la base utilizada para determinar analíticamente la ubicación de los límites de las unidades o tramos.

3.2 Aplicación a variables discontinuas

Las figuras esquemáticas presentadas anteriormente están altamente idealizadas para comprender el concepto. En la práctica, las mediciones son normalmente discontinuas (medidas puntuales), obtenidas de intervalos distintos y nunca constantes, inclusive en un tramo o unidad. Para aplicar lo principios mencionados anteriormente para obtener una solución metodológica capaz de tomar en cuenta condiciones de discontinuidad, se debe utilizar un método de diferencias numérico. Donde la forma de la función Z_x está dada por la Ecuación 13:

$$Z_x = \sum_{i=1}^a a_i - \frac{\sum_{i=1}^a a_i}{L_p} \sum_{i=1}^a x_i$$

Ecuación 13

Donde:

$$a_i = \frac{(r_{i-1} + r_i)}{2} * x_i = \bar{r}_i * x_i$$

Ecuación 14

(Nota: permita $r_0 = r_1$)

Donde:

n = el n número de mediciones de respuesta de pavimento,

n_t = número total de mediciones tomadas en el proyecto,

r_i = valor de la respuesta del pavimento en la medición i ,

\bar{r}_i = promedio de los valores de la respuesta de pavimento entre $(i-1)$ y i ,

L_p = longitud tota de proyecto.

Si las mediciones se toman con intervalos iguales, la Ecuación 13 se reduce a:

$$Z_x = \sum_{i=1}^n a_i - \frac{n}{n_t} \sum_{i=1}^n a_i$$

Ecuación 15

3.3 Solución Tabular Secuencial

La Tabla 7 muestra como se realiza la solución secuencial progresivamente y los cálculos correspondientes para el análisis de intervalos de distancias diferentes. Cada celda se explica en esta misma tabla.

Tabla 7: Método de Diferencias Acumuladas– Solución Secuencial

Col. (1)	Col. (2)	Col. (3)	Col. (4)	Col. (5)	Col. (6)	Col. (7)	Col. (8)	Col. (9)
Distancia entre Estación	Valor de Respuesta de Paviment.	Número de inter.	Distancia entre inter.	Distancia Acumulada	Promedio de Respuesta del pavimento	Intervalo de Área real	Área Acumulada	Valor de Z_x $Z_x = \text{Col. (8)}$
(dist.)	(r _i)	(n)	(?x _i)	(? ?x _i)	(r _i)	(a _i)	(? a _i)	- F* Col.(5)
1	r ₁	1	?x ₁	?x ₁	$\bar{r}_1 = r_1$	$a_1 = \bar{r}_1 \Delta x_1$	a ₁	Z _{x1} = a ₁ - F*?x ₁
2	r ₂	2	?x ₂	(?x ₁ +?x ₂)	$\bar{r}_2 = \left(\frac{r_1+r_2}{2}\right)$	$a_2 = \bar{r}_2 \Delta x_2$	a ₁ + a ₂	Z _{x2} = (a ₁ +a ₂) - F*(?x ₁ +?x ₂)
3	r ₃	3	?x ₃	(?x ₁ +?x ₂ +?x ₃)	$\bar{r}_3 = \left(\frac{r_2+r_3}{2}\right)$	$a_3 = \bar{r}_3 \Delta x_3$	a ₁ + a ₂ + a ₃	...
...
...
Lp	r _n	N _t	?x _{nt}	(?x ₁ +...+?x _{nt})	$\bar{r}_{nt} = \left(\frac{r_{n-1}+r_n}{2}\right)$	$a_{nt} = \bar{r}_{nt} \Delta x_{nt}$	a ₁ +...+ a _{nt}	Z _{xnt} = (a ₁ +...+a _{nt}) - F*(?x ₁ +...+?x _{nt})

Anexo E.Solicitudes de trabajo e informes de ensayo de LanammeUCR para la evaluación de Cañas – Liberia

En este apartado se muestran los documentos correspondientes a las solicitudes de trabajo generadas por la UGERVN para ejecutar los ensayos de evaluación de Cañas – Liberia, y sus respectivos informes con el resumen de los resultados.

30 de abril de 2018

Ing. Alejandro Navas Carro MSc.

Director del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR

Universidad de Costa Rica

Presente

Estimado señor:

Por este medio me permito solicitar el apoyo del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR, para colaborar con la mano de obra, equipo (deflectómetro de impacto, perfilómetro laser, Geo 3D y drones) con los respectivos datos de su uso, para el desarrollo del Proyecto Final de Graduación "Diseño de un modelo para calificar la condición técnica de pavimentos rígidos en servicio de la Red Vial Nacional de Costa Rica" realizado por el estudiante Diego Alberto Herrera Fallas, cédula 4 0207 0867.

Sin más por el momento me despido,

Atentamente:

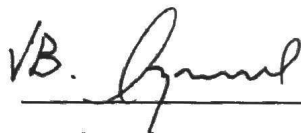


Diego Alberto Herrera Fallas

Carné: B03087

Céd: 4 0207 0867

Recibido:



Ing. Alejandro Navas Carro MSc.

Director LanammeUCR



Fecha: 08/04/2019

RC-334 v 02

<p><u>Información del Cliente</u></p> <p>Cliente: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red vial Nacional</p> <p>Dirección:</p> <p>Tel: 2511-2500</p> <p>Correo electrónico:</p> <p>Proyecto: IRI Cañas-Liberia (Faulting) carriles externos</p>	<p>ST-0378-19(1)</p>
---	-----------------------------

Descripción del trabajo:

Cantidad	Descripción	Procedimiento	Precio unitario (₡)	Precio total (₡)
1	Perfilómetro Láser (RSP) (1/2 día de medición)	(ASTM, acreditado)	₡ 383 750	₡ 383 750
Total de gastos logísticos				₡ 193 500
				Total : ₡ 577 250

<p>Nota 1 Se generará un solo informe de ensayo correspondiente a cada paquete de ensayos, excepto cuando se realicen informes parciales. Si el cliente necesita separar informes, debe comunicarlo al Laboratorio para hacer el ajuste respectivo en la cotización o solicitud de trabajo.</p> <p>Nota 2 El LanammeUCR generará un informe de ensayos con los resultados de todos los especímenes de ensayo aportados. No se excluirán resultados de ningún espécimen de ensayo correspondiente al paquete, a no ser que se haya presentado alguna situación no prevista o fortuita de orden técnico, que afecta la validez técnica de algún resultado o que imposibilita la realización de alguno de los ensayos. Las situaciones anteriores serán informadas en el informe de ensayo.</p> <p>Nota 3 Los ensayos por realizar a las muestras ingresadas al laboratorio se deberán definir de forma inmediata. Las muestras con más de 10 días hábiles de ingresadas que no tengan sus ensayos definidos por parte del cliente, podrán ser desechadas sin responsabilidad por parte del LanammeUCR. Si por alguna razón no se pueden definir los ensayos al ingresar las muestras, el Laboratorio indicará al cliente cuáles ensayos se pueden realizar y modificará esta cotización o solicitud de trabajo.</p> <p>Nota 4 El cliente deberá informar de previo si desea que se le devuelvan las muestras ensayadas o los sobrantes de estas. De no ser así, las muestras serán desechadas posterior a la realización de los ensayos, sin responsabilidad por parte del LanammeUCR.</p> <p>Nota 5 Al dar su visto bueno para realizar los servicios solicitados o realizar el pago del adelanto o de la totalidad del costo de los servicios solicitados, el cliente da por aceptadas todas las condiciones establecidas en esta cotización o solicitud de trabajo.</p> <p>Alternativa de pago</p> <ol style="list-style-type: none"> Efectivo en nuestras instalaciones Con tarjeta de crédito o débito en nuestras instalaciones Transferencia bancaria (a nombre de FundaciónUCR) <ul style="list-style-type: none"> Banco Nacional colones: 100-01-000-140077-9 (BNCR) Cuenta Cliente colones: 15100010011400776 (BNCR) Banco Nacional dólares: 100-02-000-0603735-2 (BNCR) Cuenta Cliente dólares: 15100010026037353 Cheque a nombre de FUNDEVI o Fundación de la Universidad de Costa Rica para la investigación. Transferencia bancaria internacional (a nombre de FundaciónUCR): BICSA Banco Internacional de Costa Rica, Miami: 102 017 145/ ABA: 066011567 / SWIFT COSRUS3M <p>Cédula jurídica de la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación # 3-006-101757.</p> <p>En caso de transferencia se debe enviar un comprobante de pago al correo electrónico: laboratorios.lanamme@ucr.ac.cr, con el número de autorización.</p>

Fecha de entrega estimada: 29/04/2019

Autorizado por: Melissa Rojas Marín



Informe de Ensayo

RC-80 v.11 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025)

ST-0378-19

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional - PITRA .
Ing. José Francisco Garro.

Proyecto: Cañas-Liberia, Ruta 1.

Domicilio: San Pedro de Montes de Oca. 400 mts al norte del Centro Comercial Muñoz & Nanne,
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).
Universidad de Costa Rica, Finca 2.

2. Método de ensayo:

(AASHTO R36) (**) Método de ensayo para la determinación del Escalonamiento en Losas de Concreto.

(**) Ensayo no acreditado



3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

No. de identificación:

No aplica

Descripción:

Pavimento de concreto.
Ver más detalles en el cuerpo del informe.

Aportadas por:

No aplica.

Fecha de recepción:

No aplica.

Fecha de realización del ensayo:

2019/04/08.

4. Información del muestreo:

Información aportada por el cliente.

Fecha de muestreo:

No aplica.

Ubicación:



Figura N°1. Mapa de ubicación de la evaluación sobre Ruta 1.



No. de informe: I-1126-19

Procedimiento de muestreo:

Se evaluaron las siguientes secciones solicitadas por el cliente:

- Ruta Nacional 1, Cañas-Liberia (50 km), se evalúa el carril externo en ambos sentidos.

Se mide dos veces los archivos a y b corresponden a una frecuencia de medición del perfil longitudinal de 250 mm y los archivos c y d a una frecuencia de medición del perfil longitudinal de 25 mm.

Equipo utilizado: DYNATEST 5051 MARK III RSP SYSTEM (PL-001).

Condiciones ambientales:

No aplica.

5. Resultados:

Como parte de nuestro sistema de calidad los resultados son respaldados en el servidor correspondiente (\\Marte\labs\Infraestructura Via\I- LEP\Informes\UERVN\2019) y al cual el cliente tiene acceso.





No. de informe: I-1126-19

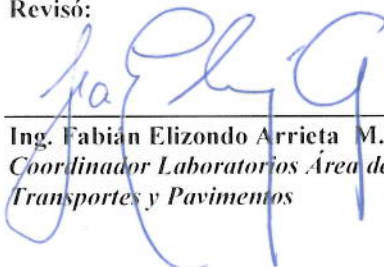
Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.


Preparó:


Ing. Melissa Rojas Marin
Jefe Laboratorio de Evaluación de
Pavimentos

Revisó:


Ing. Fabian Elizondo Arrieta M.B.a
Coordinador Laboratorios Área de
Transportes y Pavimentos

Aprobó:


Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

-----ÚLTIMA LÍNEA-----





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Fecha: 13/03/2019

RC-334 v 02

<p><u>Información del Cliente</u></p> <p>Cliente: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red vial Nacional</p> <p>Dirección:</p> <p>Tel: 2511-2500</p> <p>Correo electrónico:</p> <p>Proyecto: FWD Cañas-Liberia</p>	<p>ST-0249-19(1)</p>
--	-----------------------------

Descripción del trabajo:

Cantidad	Descripción	Procedimiento	Precio unitario (₡)	Precio total (₡)
6	Deflectometría de Impacto (FWD) (1 día de medición)	(ASTM, acreditado)	₡ 820 000	₡ 4 920 000
Total de gastos logísticos				₡ 767 500
Total : ₡ 5 687 500				

Nota

En caso de transferencia se debe enviar un comprobante de pago al correo electrónico: laboratorios.lanamme@ucr.ac.cr, con el número de autorización.

Nota

Las muestras se desecharán después de 14 días de almacenadas, en caso de que no se retiren o se pague la solicitud o cotización asociada

Alternativa de pago

1. Efectivo en nuestras instalaciones
2. Con tarjeta de crédito o débito en nuestras instalaciones
3. Cheque a nombre de FundaciónUCR
4. Transferencia bancaria (a nombre de FundaciónUCR)
 - Banco Nacional colones: 100-01-000-140077-9 (BNCR)
 - Cuenta Cliente colones: 15100010011400776 (BNCR)
 - Banco Nacional dólares: 100-02-000-0603735-2 (BNCR)
 - Cuenta Cliente dólares: 15100010026037353
5. Transferencia bancaria internacional (a nombre de FundaciónUCR):
BICSA Banco Internacional de Costa Rica, Miami: 102 017 145/ ABA: 066011567 / SWIFT COSRUS3M

Cédula jurídica de la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación # 3-006-101757.

Fecha de entrega estimada: 22/03/2019

Autorizado por: Melissa Rojas Marín

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica / CP-11501-2060 San José
Tel. (506)2511-5423 / Web: www.lanamme.ucr.ac.cr
Contacto: (506)2511-2509
laboratorios.lanamme@ucr.ac.cr



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

No. de informe: I-1011-19

Informe de Ensayo

RC-80 v.10 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025)

ST-0249-19

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional - PITRA .
Ing. José Francisco Garro.

Proyecto: Cañas-Liberia, Ruta 1.

Domicilio: San Pedro de Montes de Oca. 400 mts al norte del Centro Comercial Muñoz & Nanne,
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).
Universidad de Costa Rica, Finca 2.

2. Método de ensayo:

IT-LC-04 (ASTM 4694) (*) Método de ensayo estándar para la determinación de deflexiones haciendo uso de un deflectómetro de impacto.



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.
(**) Ensayo no acreditado





No. de informe: I-1011-19

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

No. de identificación:

No aplica

Descripción:

Losas de Concreto (pavimento).
Ver más detalles en el cuerpo del informe.

Aportadas por:

No aplica.

Fecha de recepción:

No aplica.

Fecha de realización del ensayo:

2019/02/27 al 2019/03/08

4. Información del muestreo:

Información aportada por el cliente.

Fecha de muestreo:

No aplica.

Ubicación:



Figura N°1. Mapa de ubicación del la ruta 1.





Procedimiento de muestreo:

Se evaluaron las siguientes secciones solicitadas por el cliente:

- Ruta Nacional 1, Cañas-Liberia (50 km). Se evalúa transferencia de carga cada 250 m (se ajusta a la losa más próxima) y el carril externo en ambos sentidos. La evaluación se realiza de noche y madrugada. Se utiliza la siguiente configuración: Plato de carga en la losa a evaluar y los sensores D1 y D2 se encuentran detrás del plato de carga en la losa saliente; quedando la junta entre el plato de carga y el D1.

Equipo utilizado: DYNATEST 8082 HWD/FWD TEST SYSTEM. Diámetro del plato de carga: 300 mm.

Condiciones ambientales: No aplica.

5. Resultados:

Como parte de nuestro sistema de calidad los resultados son respaldados en el servidor correspondiente (\\Marte\labs\Infraestructura Vial\I- LEP\Informes\UERVN\2019) y al cual el cliente tiene acceso.

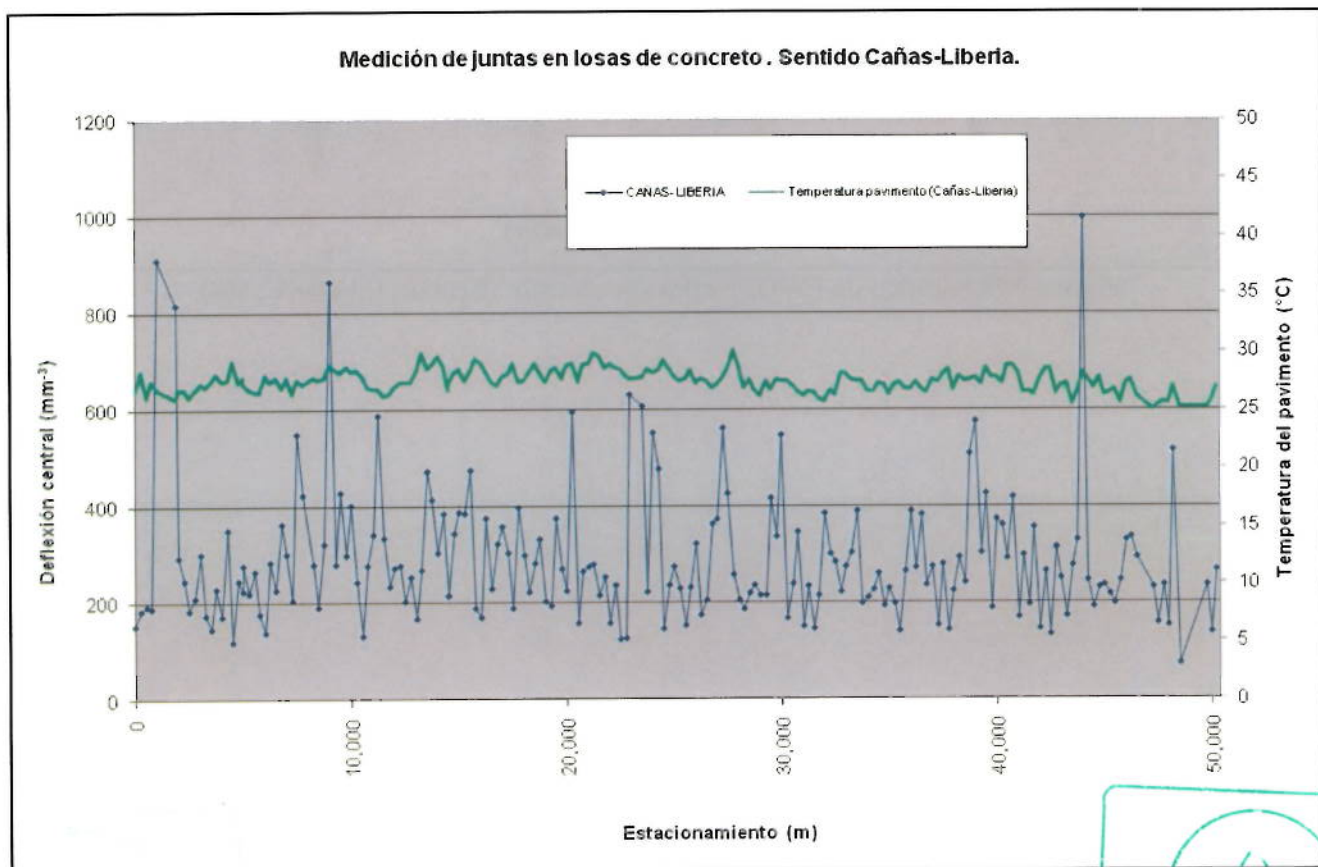


Figura N°2. Gráfico de FWD (Deflexión central). (Sentido Cañas-Liberia).

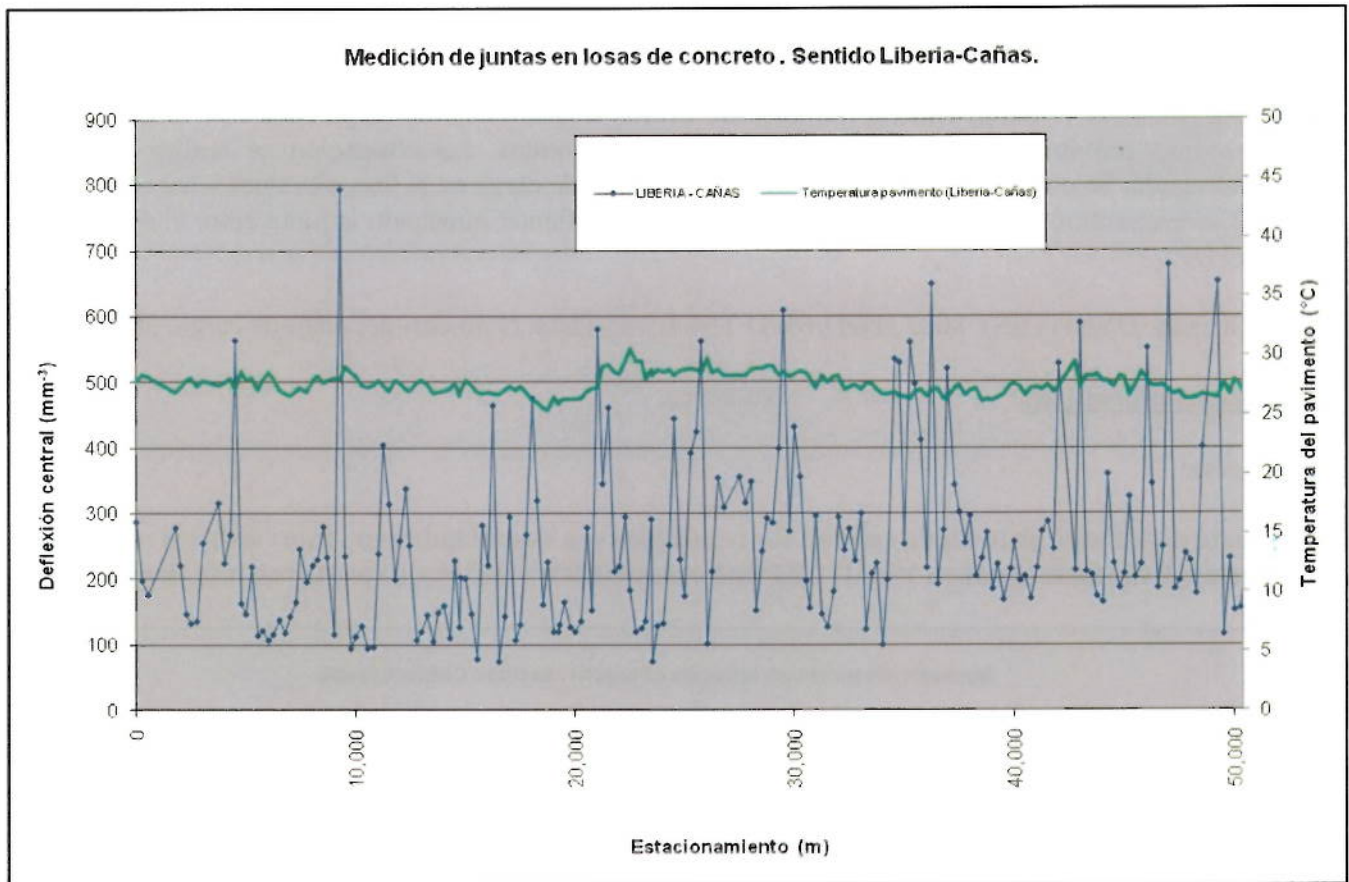


Figura N°2. Gráfico de FWD (Deflexión central). (Sentido Liberia-Cañas).



No. de informe: I-1011-19

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Melissa Rojas Marín
Jefe Laboratorio de Evaluación de
Pavimentos

Revisó:

Ing. Fabián Elizondo Arrieta M.B.a
Coordinador Laboratorios Área de
Transportes y Pavimentos

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

-----ÚLTIMA LÍNEA-----





Informe de Ensayo

RC-80 v.10 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025)

ST-0209-19

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional - PITRA .
Ing. José Francisco Garro.

Proyecto: Cañas-Liberia, Ruta 1.

Domicilio: San Pedro de Montes de Oca. 400 mts al norte del Centro Comercial Muñoz & Nanne,
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).
Universidad de Costa Rica, Finca 2.

2. Método de ensayo:

IT-LC-05 (BS: 7941-2:2000) (*) Método de ensayo para la determinación del coeficiente de fricción "GripNumber".

IT-LC-03 (ASTM E 950) (*) Método de ensayo para la determinación del Perfil Longitudinal.



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

(**) Ensayo no acreditado





No. de informe: I-0248-19

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

No. de identificación:

No aplica

Descripción:

Pavimento.
Ver más detalles en el cuerpo del informe.

Aportadas por:

No aplica.

Fecha de recepción:

No aplica.

Fecha de realización del ensayo:

2019/02/20 - 2019/02/21 y 2019/02/25

4. Información del muestreo:

Información aportada por el cliente.

Fecha de muestreo:

No aplica.

Ubicación:



Figura N°1. Mapa de ubicación de la ruta 1 (Grip).



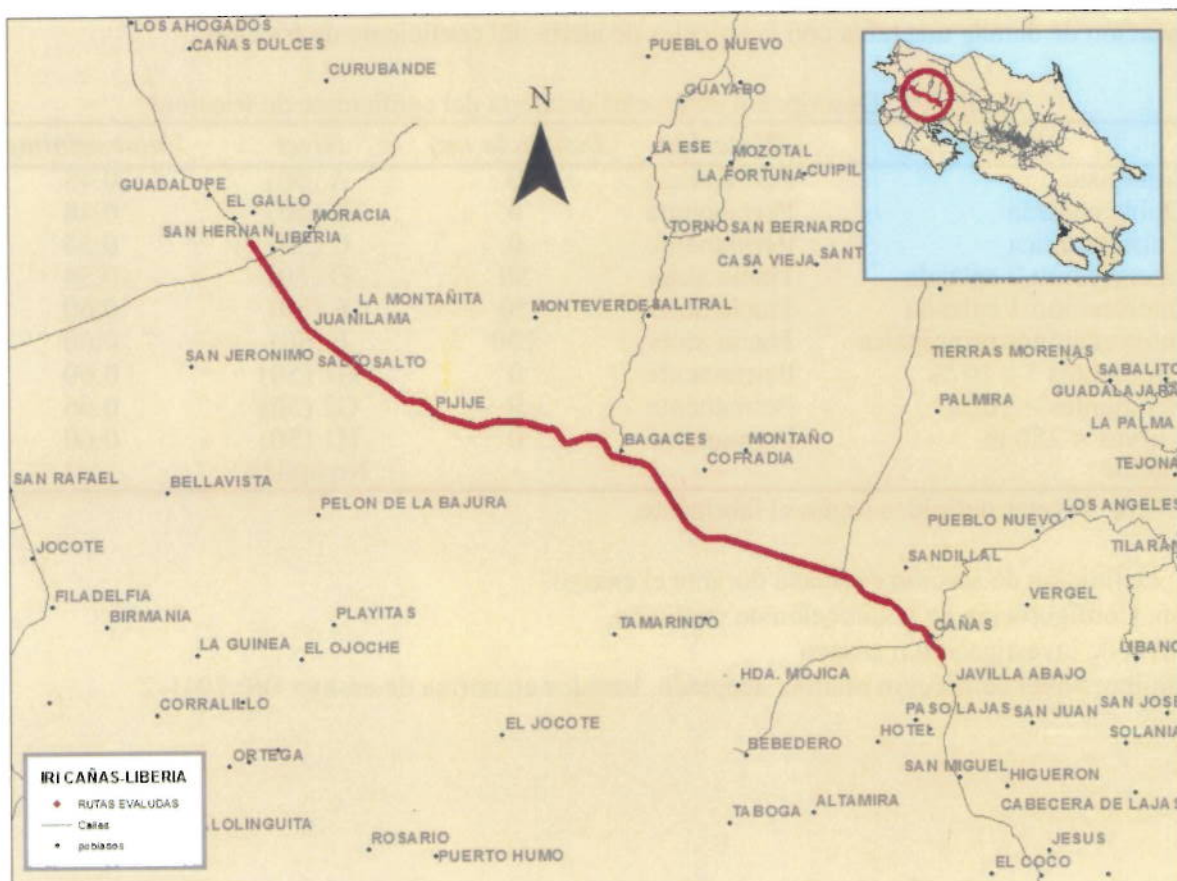


Figura N°2. Mapa de ubicación de la ruta 1 (IRI).

Procedimiento de muestreo:

Se evaluaron las siguientes secciones solicitadas por el cliente:

- Ruta Nacional 1, Cañas-Liberia (50 km). Para Griptester se evalúa el carril externo en ambos sentidos y para IRI se evalúan los 4 carriles (dos por sentido).

Los datos de Grip se registraron cada 5 m. Y los datos de IRI se registraron cada 50 m.

Equipo utilizado:

- Griptester (GT-002), espesor de película de agua teórico: 0.25 mm y velocidad de medición: 50 km/hr.
- DYNATEST 5051 MARK III RSP SYSTEM (PL-001).

Condiciones ambientales:

No aplica.

5. Resultados:

Como parte de nuestro sistema de calidad los resultados son respaldados en el servidor correspondiente (\\Marte\labs\Infraestructura Vial\I- LEP\Informes\UERVN\2019) y al cual el cliente tiene acceso.





No. de informe: I-0248-19

A continuación se detalla una tabla con los niveles de alerta del coeficiente de fricción:

Tabla N°1. Descripción de niveles de alerta del coeficiente de fricción*

<i>Nombre</i>	<i>Dirección</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Nivel</i>	<i>Valor mínimo</i>
Autopista	Permanente	0	A (50)	0.48
Doble calzada	Permanente	0	B (50)	0.48
Calzada única	Permanente	0	C (50)	0.54
Intersección 2 calzada	Hacia atrás	50	D (50)	0.54
Intersección 1 calzada	Hacia atrás	50	E (50)	0.60
Intersecciones principales	Hacia atrás	100	F (50)	0.60
Pendientes 5 a 10 %	Permanente	0	G1 (50)	0.60
Pendientes > 10 %	Permanente	0	G2 (50)	0.66
Curvas < 250 m	Permanente	0	H1 (50)	0.60
Puente	-	-	No aplica	-

* **Nota:** Niveles definidos según el fabricante.

Nombre: Definición de sección evaluada durante el ensayo

Dirección: Configuración en la dirección de medición

Nivel: Nivel de investigación o ensayo

Valor mínimo: Nivel de fricción mínimo aceptado, basados en norma de ensayo BS: 7941-2





No. de informe: I-0248-19

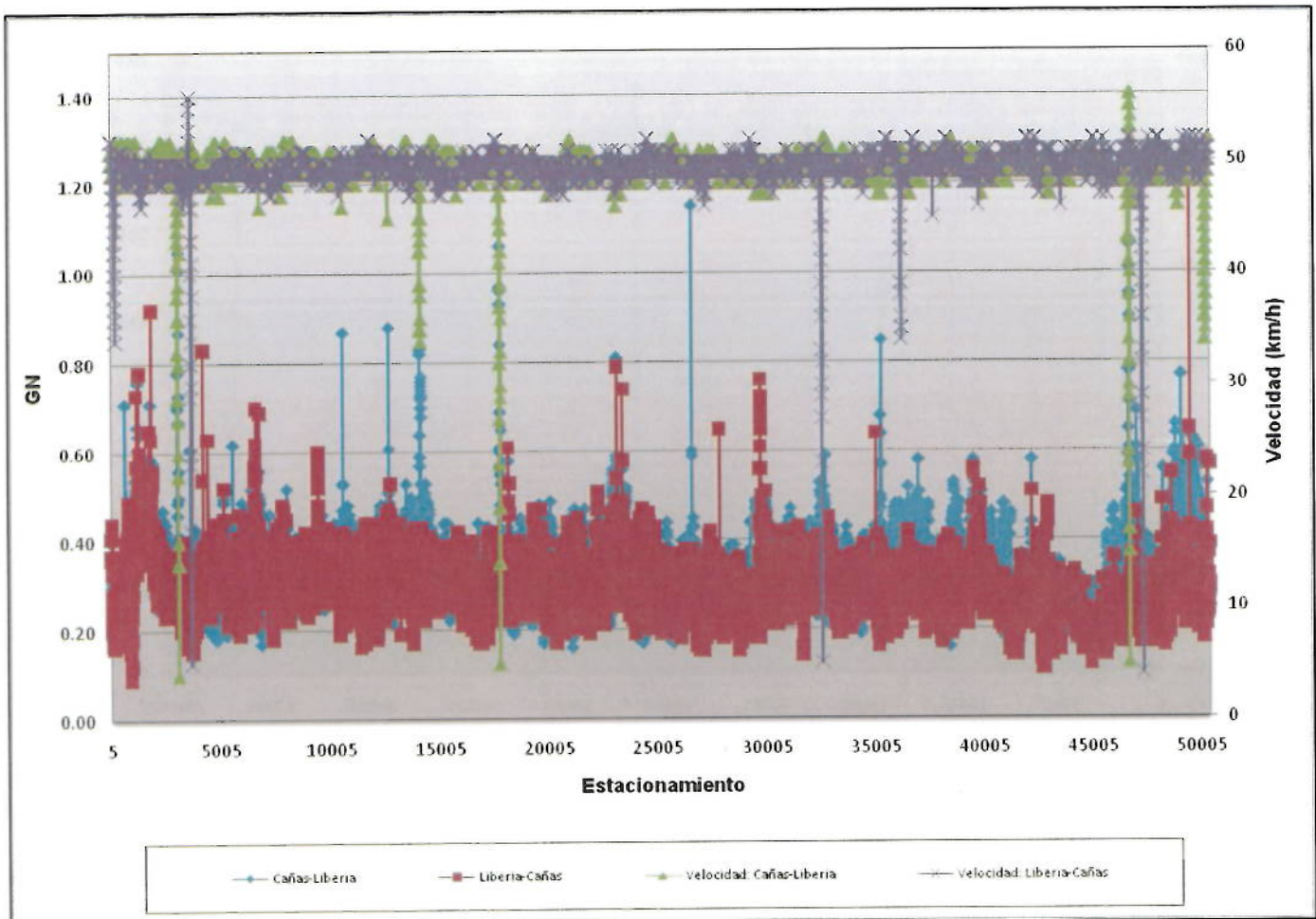


Figura N°3. Gráfico de Griptester y Velocidad (Cañas-Liberia).



No. de informe: I-0248-19

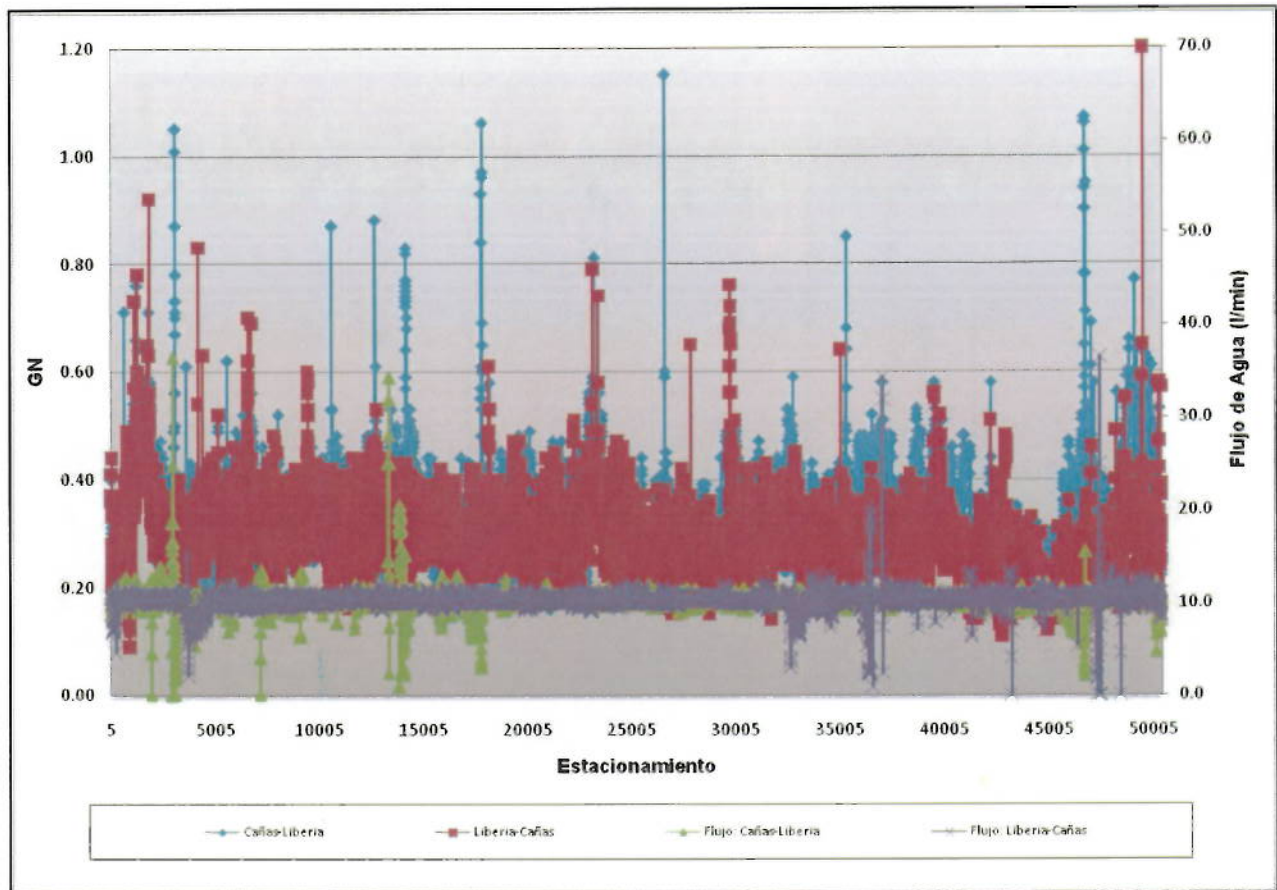


Figura N°4. Gráfico de Griptester y Flujo de Agua (Cañas-Liberia).





No. de informe: I-0248-19

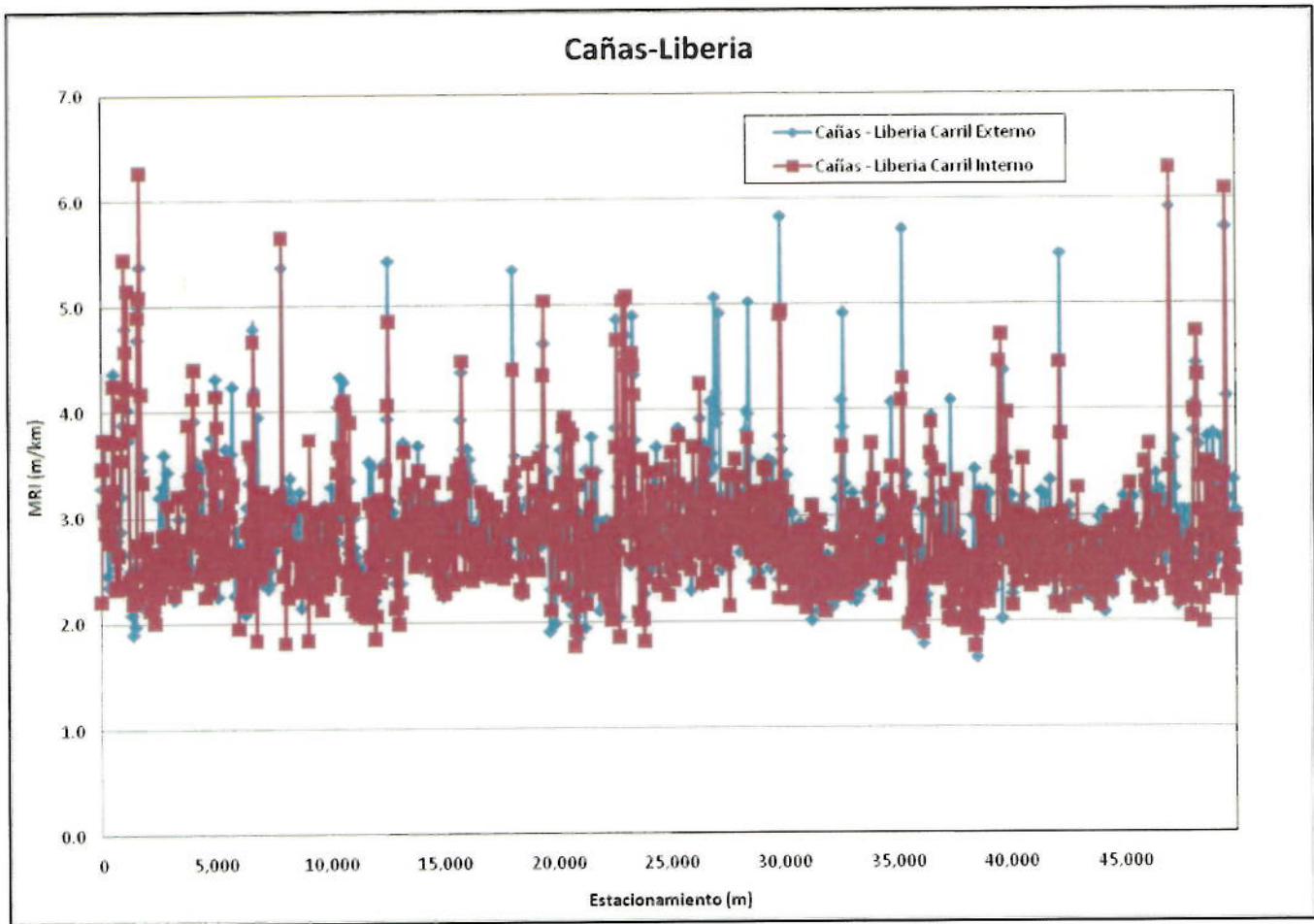


Figura N°5. Gráfico de MRI, Cañas – Liberia.

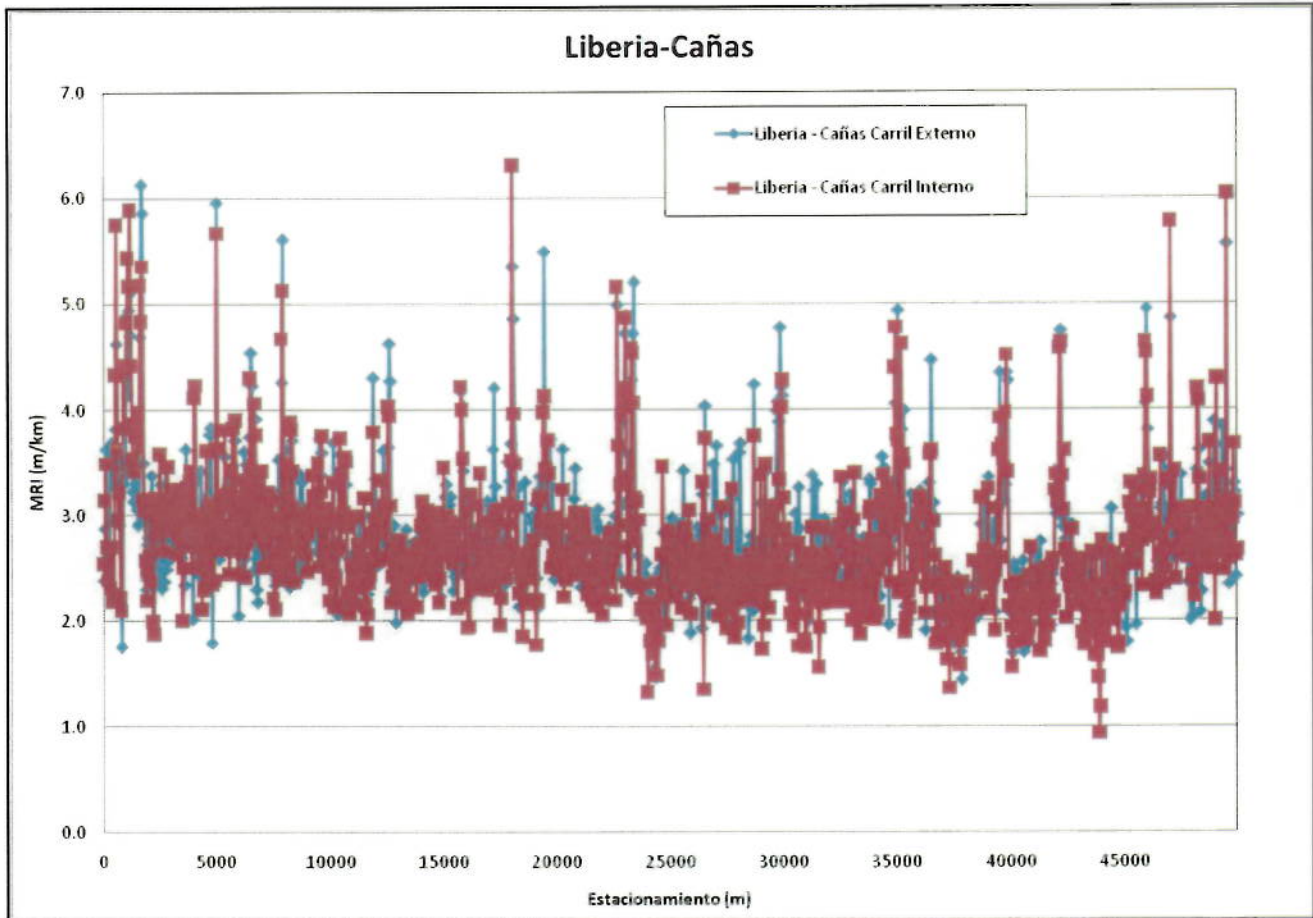


Figura N°6. Gráfico de MRI, Liberia-Cañas.

Notas:

Ciertas situaciones no contraladas que pudieran presentarse durante la evaluación, varían las condiciones de velocidad de (50 ± 5) km/hr y el espesor teórico de la película de agua de 0.25 mm establecidas para el ensayo. El cambio en estos parámetros afectan los valores de fricción registrados por el equipo, por lo tanto es importante tomarlos en cuenta durante la interpretación de los resultados de este ensayo. Algunos eventos a tomar en cuenta son: reducción en la velocidad por congestión vehicular, aproximación a zonas de peajes, regularidad de la carretera de la carretera, curvas muy cerradas, aproximación a semáforos, pendientes pronunciadas, entre otros. Adicionalmente, la presencia de materiales extraños, suciedad, polvo y demarcaciones horizontales, afectan el registro de los valores de fricción. Por último, debe considerarse la época del año en la que se realizó el ensayo debido a que por la variación estacional los datos de fricción se pueden ver afectados (época seca / época lluviosa). Por otro lado, tomar en cuenta que el espesor real (en oposición al teórico) de esta película de agua puede variar con las características del drenaje de la superficie en cuestión.





No. de informe: I-0248-19

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Melissa Rojas Marín
Jefe Laboratorio de Evaluación de
Pavimentos

Revisó:

Ing. Fabián Elizondo Arrieta M.B.a
Coordinador Laboratorios Área de
Transportes y Pavimentos

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

-----ÚLTIMA LÍNEA-----





Fecha: 17/05/2019

RC-334 v 02

<p><u>Información del Cliente</u></p> <p>Cliente: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red vial Nacional</p> <p>Dirección:</p> <p>Tel: 2511-2500</p> <p>Correo electrónico:</p> <p>Proyecto: FWD Cañas-Liberia</p>	<p>ST-0453-19(3)</p>
--	-----------------------------

Descripción del trabajo:

Cantidad	Descripción	Procedimiento	Precio unitario (₡)	Precio total (₡)
4	Deflectometría de Impacto (FWD) (1 día de medición)	(ASTM, acreditado)	₡ 820 000	₡ 3 280 000
Total de gastos logísticos				₡ 634 000
				Total : ₡ 3 914 000

Nota 1

Se generará un solo informe de ensayo correspondiente a cada paquete de ensayos, excepto cuando se realicen informes parciales. Si el cliente necesita separar informes, debe comunicarlo al Laboratorio para hacer el ajuste respectivo en la cotización o solicitud de trabajo.

Nota 2

El LanammeUCR generará un informe de ensayos con los resultados de todos los especímenes de ensayo aportados. No se excluirán resultados de ningún espécimen de ensayo correspondiente al paquete, a no ser que se haya presentado alguna situación no prevista o fortuita de orden técnico, que afecta la validez técnica de algún resultado o que imposibilita la realización de alguno de los ensayos. Las situaciones anteriores serán informadas en el informe de ensayo.

Nota 3

Los ensayos por realizar a las muestras ingresadas al laboratorio se deberán definir de forma inmediata. Las muestras con más de 10 días hábiles de ingresadas que no tengan sus ensayos definidos por parte del cliente, podrán ser desechadas sin responsabilidad por parte del LanammeUCR. Si por alguna razón no se pueden definir los ensayos al ingresar las muestras, el Laboratorio indicará al cliente cuáles ensayos se pueden realizar y modificará esta cotización o solicitud de trabajo.

Nota 4

El cliente deberá informar de previo si desea que se le devuelvan las muestras ensayadas o los sobrantes de estas. De no ser así, las muestras serán desechadas posterior a la realización de los ensayos, sin responsabilidad por parte del LanammeUCR.

Nota 5

Al dar su visto bueno para realizar los servicios solicitados o realizar el pago del adelanto o de la totalidad del costo de los servicios solicitados, el cliente da por aceptadas todas las condiciones establecidas en esta cotización o solicitud de trabajo.

Alternativa de pago

1. Efectivo en nuestras instalaciones
2. Con tarjeta de crédito o débito en nuestras instalaciones
3. Transferencia bancaria (a nombre de FundaciónUCR)
 - Banco Nacional colones: 100-01-000-140077-9 (BNCR)
 - Cuenta Cliente colones: 15100010011400776 (BNCR)
 - Banco Nacional dólares: 100-02-000-0603735-2 (BNCR)
 - Cuenta Cliente dólares: 15100010026037353
4. Cheque a nombre de FUNDEVI o Fundación de la Universidad de Costa Rica para la investigación.
5. Transferencia bancaria internacional (a nombre de FundaciónUCR):
BICSA Banco Internacional de Costa Rica, Miami: 102 017 145/ ABA: 066011567 / SWIFT COSRUS3M

Cédula jurídica de la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación # 3-006-101757.

En caso de transferencia se debe enviar un comprobante de pago al correo electrónico: laboratorios.lanamme@ucr.ac.cr, con el número de autorización.

Fecha de entrega estimada: 31/05/2019

Autorizado por: Melissa Rojas Marín



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

No. de informe: I-1300-19

Informe de Ensayo

RC-80 v.11 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025)

ST-0453-19

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional - PITRA.
Ing. José Francisco Garro.

Proyecto: Cañas-Liberia, Ruta 1.

Domicilio: San Pedro de Montes de Oca. 400 mts al norte del Centro Comercial Muñoz & Nanne,
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).
Universidad de Costa Rica, Finca 2.

2. Método de ensayo:

IT-LC-04 (ASTM 4694) (*) Método de ensayo estándar para la determinación de deflexiones haciendo uso de un deflectómetro de impacto.



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

(**) Ensayo no acreditado





No. de informe: I-1300-19

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

No. de identificación:

No aplica

Descripción:

Losas de Concreto (pavimento).
Ver más detalles en el cuerpo del informe.

Aportadas por:

No aplica.

Fecha de recepción:

No aplica.

Fecha de realización del ensayo:

2019/05/06 al 2019/05/15.

4. Información del muestreo:

Información aportada por el cliente.

Fecha de muestreo:

No aplica.

Ubicación:

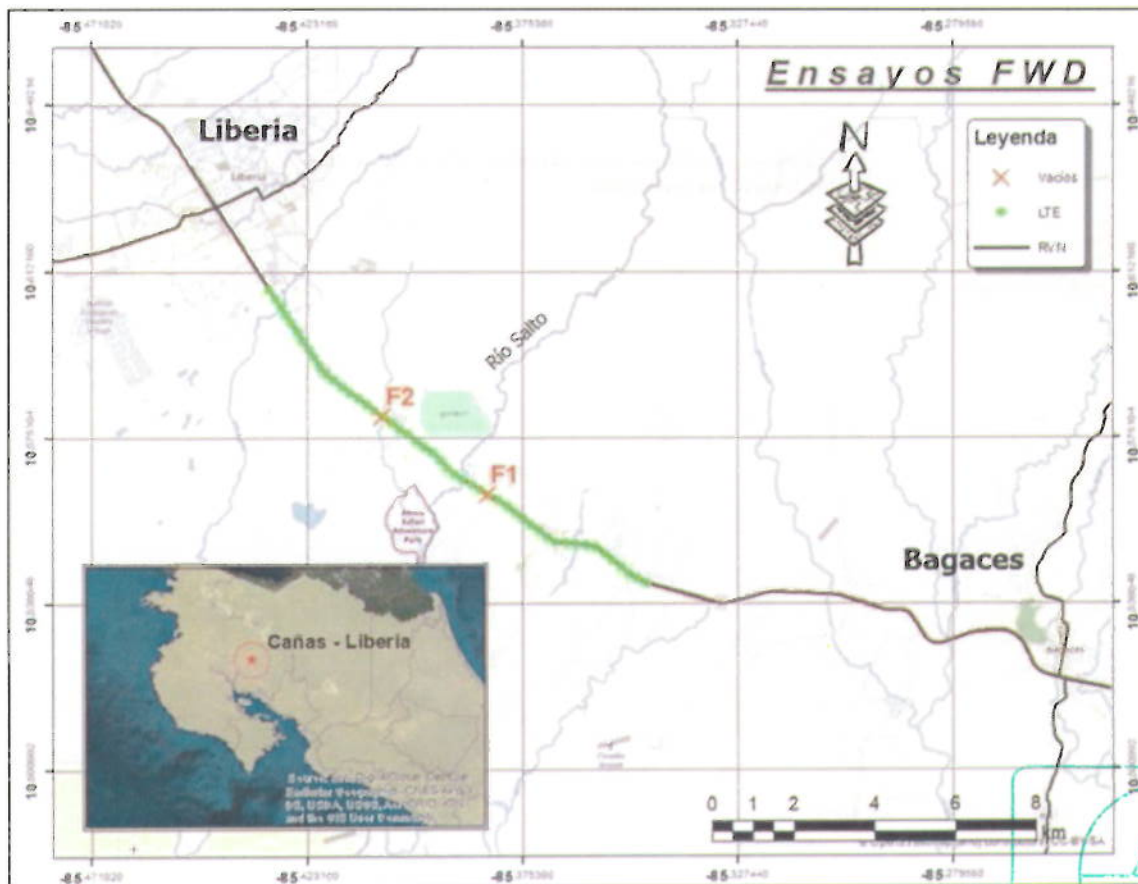


Figura N°1. Mapa de ubicación de la ruta 1.





Procedimiento de muestreo:

Se evaluaron las siguientes secciones sobre la Ruta 1 sentido Cañas-Libería, solicitadas por el cliente:

- Evaluación de Transferencia de Carga: Se evalúa transferencia de carga cada 250 m (se ajusta a la losa más próxima) y el carril externo entre los estacionamientos 034+501 m y el 046+503 m sentido Cañas-Libería. Se evalúa dos veces, en el centro del carril y luego en la huella derecha. La evaluación se realiza de noche y madrugada. Se utiliza la siguiente configuración: Plato de carga en la losa a evaluar y los sensores D1 y D2 se encuentran detrás del plato de carga en la losa saliente; quedando la junta entre el plato de carga y el D1. Carga utilizada: 40 kN.
- Evaluación de Vacíos: Se toma el punto F1 indicado en el mapa y se evalúan 25 losas antes (numeradas de 1 a 25 empezando a evaluar en la Losa 25 hasta llegar a 1 que es el punto F1). También se miden 25 losas continuas después del punto F1 empezando en 1 hasta 25. Luego se toma el punto F2 (Después del puente sobre el Río La Caraña) y se evalúan 50 losas continuas posteriores al puente. Se evalúa vacíos colocando el plato de carga (sensor D0) en la esquina de la losa del carril derecho. Cargas utilizadas: 40 kN, 53 kN y 71 kN.

Equipo utilizado: DYNATEST 8002 FWD TEST SYSTEM. Diámetro del plato de carga: 300 mm.

Condiciones ambientales:

Evaluación en la noche-madrugada.

5. Resultados:

Como parte de nuestro sistema de calidad los resultados son respaldados en el servidor correspondiente (\\Marte\labs\Infraestructura Via\I- LEP\Informes\UERVN\2019) y al cual el cliente tiene acceso.

Debido a la cantidad de datos los datos se adjuntan en tablas.





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

No. de informe: I-1300-19

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Melissa Rojas Marín
Jefe Laboratorio de Evaluación de
Pavimentos

Revisó:

Ing. Fabián Elizondo Arrieta M.B.a
Coordinador Laboratorios Área de
Transportes y Pavimentos

Aprobó:

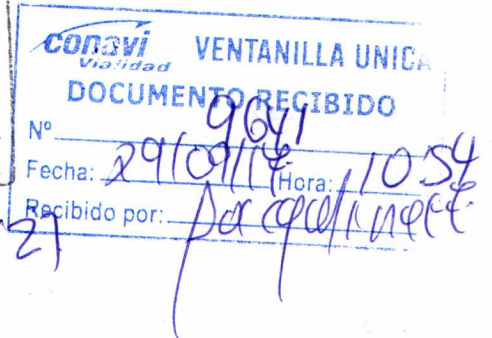
Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

-----ÚLTIMA LÍNEA-----





28 de setiembre de 2017
LM-IC-D-0745-17



Lic. Carlos Solís Murillo, MBA
Director Ejecutivo a.i.
Consejo Nacional de Vialidad

Estimado señor:

Con fundamento en las funciones de evaluación y fiscalización de las carreteras y puentes, que la Ley 8114 en sus artículos 5 y 6 encomienda al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), el Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) realiza un proceso de evaluación de proyectos nuevos entregados a la Administración permitiendo conocer el estado en el que se encuentran estos proyectos en el "año cero".

En esta ocasión se realizó la evaluación de la superficie de ruedo del proyecto Cañas - Liberia siguiendo la metodología descrita el Manual de Auscultación Visual para la detección de deterioros en pavimentos de concreto y el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI por sus siglas en inglés), utilizando 433 unidades de muestreo las cuales son una subdivisión de la longitud del pavimento, que para pavimentos de concreto se usa el criterio de 20 losas (± 8 losas). La evaluación se realizó utilizando el equipo de Auscultación Visual de Pavimentos con Imágenes Digitales Georreferenciadas (conocido como Geo3D).

En la Figura 1 se puede apreciar la distribución del tipo de deterioro detectado para ambos sentidos de avance a lo largo del tramo analizado, predominando el deterioro tipo "Grietas por contracción" seguido por "Agrietamiento Lineal" los cuales se ubica su percentil 75 en los primeros 36 y 30 kilómetros respectivamente; el deterioro "Fractura de Junta" fue detectado en los primeros 24 km del proyecto, ubicando su percentil 75 en los primeros 7 kilómetros.

Deterioros Ruta 1 Tramo Cañas-Liberia

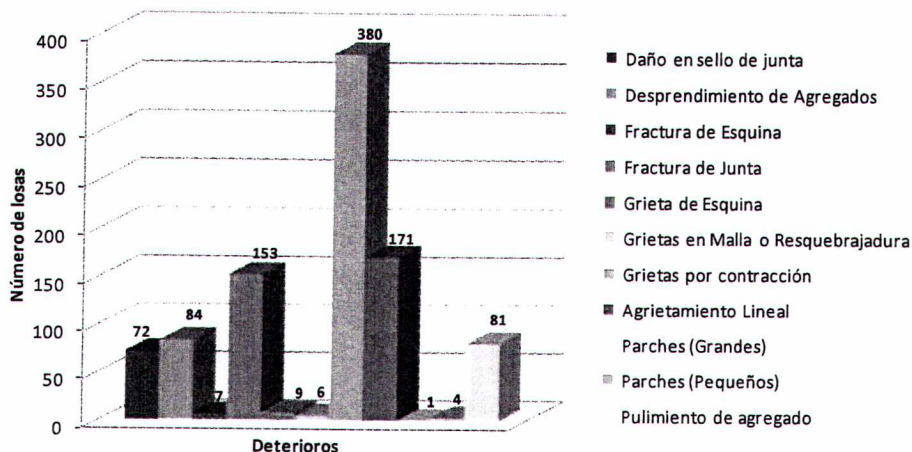


Figura 1. Deterioros presentes en la evaluación.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

A partir de la identificación del tipo de deterioro, severidad y extensión por unidad de muestreo se pudo obtener un **PCI = 98.85**, el cual califica a la estructura del pavimento desde el punto de vista superficial con una condición Buena.

Cabe destacar que esta auscultación cumple con los parámetros de la norma, calificándola como una evaluación detallada. La realización de evaluaciones con el uso de menos unidades de muestreo pueden ser válidas si se demuestra su representatividad.

Nota: Los resultados obtenidos en esta evaluación detallada validan los resultados obtenidos en el informe de Auditoría Técnica LM-PI-AT-034-16.

Sin otro particular, se despide cordialmente,

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director de LanammeUCR



Cc.

Ingeniero. German Valverde, Ministro de Obras Públicas y Transportes
Ingeniero. Edgar May Cantillano, Gerente a.i. Conservación de Vías y Puentes
Ingeniero. Luis Guillermo Loría Salazar, Coordinador PITRA LanammeUCR
Ingeniero. Roy Barrantes Jiménez, Coordinador UGERVN, LanammeUCR