



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-158-11

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO: “Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 613. Sección Sabalito-Las Mellizas” Licitación Pública No. 2008LN-000001-DI

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica



San José, Costa Rica

Febrero, 2012

Información técnica del documento

1. Informe Final LM-PI-AT-158-11	2. Copia No. 16	
3. Título y subtítulo: Evaluación del Desempeño Estructural del Proyecto: "Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 613. Sección Sabalito-Las Mellizas". Licitación Pública No. 2008LN-000001-DI	4. Fecha del Informe 17 de Febrero de 2012	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <p><i>El proyecto Sabalito-Las Mellizas, a nivel de red, pese a presentar una condición estructural aceptable con base en las deflexiones obtenidas, un desempeño satisfactorio en cuanto a resistencia al agrietamiento por fatiga y un PCI aceptable, esto es consecuencia de la aplicación de un diseño de paquete estructural más robusto del que se requería para las condiciones de flujo vehicular (bajo volumen de tránsito) presentes. Cabe recalcar que pese a presentar estas condiciones favorables a nivel de red producto del paquete estructural con el que se construyó el proyecto, a nivel de proyecto se puede observar que los valores de resistencia para la BE presentan valores por debajo de los esperados en 55%, producto del agrietamiento de la misma tal y como había reportado en el informe de auditoría técnica LM-PI-AT-049-10, y con base en la metodología del PCI se identificaron unidades de medición especiales o tramos puntuales con agrietamiento severo que pueden comprometer el desempeño de la carretera y la inversión realizada en este proyecto de reciente construcción. Por tanto, desde el punto de vista de eficiencia y eficacia de la inversión, la alternativa de paquete estructural aplicada por la Administración, no resultó ser la más óptima.</i></p> <p><i>Específicamente, se realizó una evaluación del desempeño estructural del proyecto por medio de la deflectometría FWD con el fin de estimar la vida remanente del proyecto e identificar zonas débiles y áreas potenciales de falla por fatiga. Los resultados del análisis mostraron que según la clasificación establecida por el LanammeUCR, basada en los datos de deflectometría, el pavimento presenta una condición estructural aceptable en un 90% de su longitud. Al realizar el retrocálculo de módulos (resistencia estructural de las capas) se obtuvieron resultados razonables para todas las capas, sin embargo, los módulos obtenidos para la base estabilizada (BE) con cemento fueron un 55% menor al resultado previsto, lo cual podría significar que se produjo un decremento en su rigidez debido al agrietamiento producido por la excesiva contracción del material. No obstante lo anterior, el análisis del desempeño con respecto al agrietamiento por fatiga concluyó que la BE no presentará una falla por fatiga durante el período de diseño de 12 años, condición que indica que el pavimento semi-rígido colocado presenta una resistencia estructural mayor a la requerida para las condiciones de tránsito de la zona. Se realizó además un análisis del diseño estructural (espesores de las capas de materiales) del pavimento flexible propuesto por la Administración. Se revisaron diferentes escenarios a partir de los cuales, se concluye que la estructura del pavimento colocada en el proyecto no es, en términos de inversión económica, la elección más eficiente para soportar las cargas de tránsito impuestas en el periodo de diseño requerido (12 años) y por ende resulta en una estructura de pavimento con una mayor inversión para la Administración, no solo en lo relacionado al costo de la obra como inversión inicial sino al mantenimiento requerido por la misma a lo largo del tiempo. Se evaluó la condición presente en campo a partir de la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), basado en el deterioro superficial, con el propósito de obtener una nota general del proyecto. El valor de PCI obtenido es de 83 que clasifica "muy bueno". No obstante esta calificación, se debe tener presente que este proyecto es nuevo, por lo que debiera exhibir una nota mayor sin deterioros superficiales. A lo largo del proyecto se identificaron tramos puntuales que presentan deterioros significativos, tales como agrietamientos severos en zonas de relleno, los cuales podrían estar asociados a problemática en el manejo de aguas, calidad de construcción del relleno e insuficiencia de estudios geotécnicos. El agrietamiento severo en dichos puntos puede comprometer el desempeño de la carretera y la inversión realizada en este proyecto de reciente construcción.</i></p>		
10. Palabras clave Retrocálculo, Módulos, Desempeño Estructural, Vida Remanente, PCI	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 71

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613 Sección: Sabalito-Las Mellizas
Licitación Pública No. 2008LN-000001-DI

Departamento encargado del proyecto: Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, CONAVI

Monto original del contrato: ₡6.521.011.452,00 (sin considerar aumentos posteriores al contrato)

Plazo original de ejecución: 320 días efectivos

Longitud del proyecto: 22,810 Km. (kilómetros)

Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:

Ing. Luís Guillermo Loría Salazar, PhD.

Coordinadora de Auditoría Técnica:

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

Auditores:

Ing. Raquel Arriola Guzmán

Ing. Ana Hidalgo Arroyo

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Asesor Legal externo:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

Evaluación del Desempeño Estructural del Proyecto: “Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 613. Sección Sabalito-Las Mellizas”. Licitación Pública No. 2008LN-000001-DI

Referencias:

-Fecha de evaluación del PSI: 19 y 20 de julio del 2011

-Fecha de entrega informe de laboratorio I-0607-10 e I-0234-11: 03 de junio del 2010 y 04 de marzo del 2011

-Fecha de conteo vehicular: 13 al 20 de octubre del 2011

Ubicación de la ruta auditada:



Figura 1. Proyecto Sabalito-Las Mellizas. Ruta Nacional No. 613.



TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS	6
1. FUNDAMENTACIÓN	7
2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	7
3. OBJETIVO DEL INFORME.....	8
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	8
5. ALCANCE DEL INFORME	9
6. RESPONSABLES DEL PROYECTO	10
7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR.....	10
8. ANTECEDENTES	10
9. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	11
9.1. Evaluación estructural del pavimento	11
9.2. Índice de Condición del Pavimento (PCI)	15
10. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-158B-11.....	16
11. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.....	17
11.1. Resultados de la Auditoría Técnica	18
11.1.1. Sobre la evaluación estructural del pavimento	18
11.1.2. Sobre el dimensionamiento de la estructura del pavimento	40
11.1.3. Sobre el índice de condición del pavimento	47
12. CONCLUSIONES	51
13. RECOMENDACIONES.....	53
ANEXO 1	57
ANEXO 2	59
ANEXO 3	61

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 4 de 71
-------------------------------	---	----------------



INDICE DE TABLAS

TABLA 1. TPDA DE VARIAS RUTAS NACIONALES	14
TABLA 2. RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI	16
TABLA 3. RANGOS DE DEFLEXIÓN SEGÚN TPDA, UTILIZADOS PARA CLASIFICAR RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA.....	19
TABLA 4. DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL PROYECTO SABALITO-LAS MELLIZAS	20
TABLA 5. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO.....	22
TABLA 6. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DEL PROYECTO SABALITO – LAS MELLIZAS, EN MPA.....	24
TABLA 7. VULNERABILIDAD AL AGRIETAMIENTO DE LA BASE ESTABILIZADA.....	30
TABLA 8. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN LA FIBRA INFERIOR DE LA BASE ESTABILIZADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO.	33
TABLA 9. COMPARACIÓN DEL NÚMERO DE CICLOS PARA LA FALLA DE LA BASE ESTABILIZADA (N_F).....	36
TABLA 10. COEFICIENTES DE DAÑO DEL PROYECTO SABALITO-LAS MELLIZAS	38
TABLA 11. DATOS REQUERIDOS PARA EL ANÁLISIS POR AASTHO-93.....	41
TABLA 12. VALORES DE SN DEL ANÁLISIS POR AASTHO-93	42
TABLA 13. DISEÑO DE ESPESORES POR AASTHO-93 (ESCENARIO 1)	43
TABLA 14 DISEÑO DE ESPESORES POR AASTHO-93 (ESCENARIO 2)	44
TABLA 15. DISEÑO DE ESPESORES POR AASTHO-93 (DISEÑO DE CONAVI).....	45
TABLA 16. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS, UNIDADES DE MUESTRA CON CONDICIONES SIGNIFICATIVAS.....	48

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 5 de 71
-------------------------------	---	----------------

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL PROYECTO: “MEJORAMIENTO DE LA RUTA NACIONAL N° 613.	9
FIGURA 2. CUENCO DE DEFLEXIONES PRODUCIDO POR EL EQUIPO FWD	12
FIGURA 3. UBICACIÓN DEL CONTADOR EN EL PROYECTO	14
FIGURA 4. RESULTADOS OBTENIDOS CON DEFLECTOMETRÍA FWD PARA EL PROYECTO SABALITO-LAS MELLIZAS.....	19
FIGURA 5. ESTADO GENERAL DE LA RUTA NACIONAL 613 SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN.	21
FIGURA 6. ESQUEMAS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO UTILIZADA EN EL PROYECTO (A) Y LA MODELACIÓN REALIZADA PARA EL RETROCÁLCULO (B).	23
FIGURA 7. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DEL PROYECTO SABALITO – LAS MELLIZAS.	25
FIGURA 8. ERROR CUADRÁTICO MEDIO (RMS) PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO DEL PROYECTO SABALITO-LAS MELLIZAS.....	26
FIGURA 9. COMPARACIÓN DE MÓDULOS RETROCALCULADOS CON VALORES TÍPICOS.	27
FIGURA 10. COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA BE-25 CON RESPECTO A ESPECIFICACIONES	29
FIGURA 11. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES CRÍTICAS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	32
FIGURA 12. COMPARACIÓN ENTRE EL TRÁFICO DE DISEÑO(N) CON RESPECTO AL NÚMERO DE REPETICIONES ADMISIBLES (N) PARA DIVERSOS TRAMOS HOMOGÉNEOS.....	39

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 6 de 71
-------------------------------	---	----------------



INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO: “MEJORAMIENTO DE LA RUTA NACIONAL N° 613. SECCIÓN SABALITO-LAS MELLIZAS. LICITACIÓN PÚBLICA NO. 2008LN-000001-DI

1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores en las rutas nacionales, se realiza de conformidad con la disposición del artículo 6 de la Ley N° 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N° 8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial de Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

Sobre esta competencia, en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril de 2002, de la Procuraduría General de la República, señala que:

“... la fiscalización que realiza la Universidad de Costa Rica a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgo de esa red. La cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del original)

2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR en cumplimiento de las tareas asignadas en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria”, Ley N° 8114, es el de emitir informes que permitan a las autoridades del país, indicadas en dicha ley, conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas o cada una de las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 7 de 71
-------------------------------	---	----------------



licitatorio; ejecución y finiquito. Asimismo la finalidad de estas auditorías consiste en que, la Administración, de manera oportuna tome decisiones correctivas y ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra, mediante un análisis comprensivo desde la fase de planificación hasta el finiquito del contrato.

Se procura que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se desarrolló el proyecto de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben considerar tanto en este proyecto como en futuras obras viales para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de conclusión, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida y esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.

Específicamente el presente informe tiene como objetivo realizar una evaluación del comportamiento estructural del pavimento, en miras a la recepción definitiva del proyecto y posibles oportunidades de mejora.

Este informe se efectuó siguiendo los procedimientos de auditoría técnica, mediante la revisión de la documentación del proyecto, la verificación del proceso constructivo mediante visitas al sitio, la realización de ensayos de laboratorio (FWD) y conteo vehicular.

3. OBJETIVO DEL INFORME

El objetivo general del informe es realizar una evaluación del comportamiento estructural del proyecto Sabalito-Las Mellizas con el fin de estimar su desempeño así como la vida remanente del proyecto.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto inicia en la población de Sabalito y finaliza en la población de Las Mellizas, con una longitud total de 22,81 kilómetros, aproximadamente (Figura 1). Las labores en el proyecto iniciaron el 10 de diciembre de 2008 con un plazo de ejecución de 320 días naturales. El propósito general del proyecto es realizar una mejora al camino existente antes

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 8 de 71
-------------------------------	---	----------------

del inicio de las obras, el cual presentaba una superficie de ruedo con materiales granulares expuestos.



Figura 1. Ubicación del proyecto: “Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 613. Sección Sabalito-Las Mellizas”.

De acuerdo con las memorias de cálculo del diseño estructural de la vía adjuntas a la Orden de Modificación N°1, enviado a la Unidad de Auditoría Técnica por el Ing. Johnny Barth el 17 de mayo de 2010 mediante el oficio DII-01-10-1020, el paquete estructural del pavimento consistía en 20 cm de préstamo seleccionado, 30 cm de subbase granular, 20 cm de base estabilizada BE-25 y un espesor de carpeta asfáltica de 5 cm.

El monto original que se estableció en el contrato era de $\text{¢}5.955.941.747,00$. Después de iniciada la obra se aumentó la cantidad mencionada en $\text{¢}565.069.758,00$ mediante la Orden de Modificación N°1. Por lo tanto el monto total del contrato asciende a $\text{¢}6.521.011.452,00$.

5. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que realiza esta auditoría técnica consiste en la evaluación estructural mediante el deflectómetro de impacto con el fin de identificar zonas débiles y áreas potenciales de falla

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 9 de 71
-------------------------------	---	----------------



por fatiga, estimación de la vida remanente de la estructura de pavimento, así como evaluación del desempeño actual y futuro de la obra.

6. RESPONSABLES DEL PROYECTO

a) Responsables por parte de la Administración:

- Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, CONAVI.
- Laboratorio de Verificación de Calidad: LGC Ingeniería en Pavimentos S.A.

b) Responsables por parte de la empresa constructora:

- Contratista: Constructora Hernán Solís, S.R.L
- Laboratorio de Control de Calidad: LGC Ingeniería en Pavimentos S.A.

7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR

- Ing. Raquel Arriola Guzmán (Auditora Técnica)
- Ing. Ana Hidalgo Arroyo (Auditora Técnica)
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc. (Auditora Técnica)
- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng. (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas)

8. ANTECEDENTES

Se realizaron dos evaluaciones con el deflectómetro de impacto sobre la Ruta 613, sección Sabalito – Las Mellizas. La primera evaluación se realizó entre los días 1° y 4 de junio del 2010 cuando el proyecto se encontraba en la etapa de colocación de la base estabilizada. Se realizaron mediciones cada 150 m y en “zigzag” o intercalados.

La segunda evaluación se realizó del 28 de febrero al 03 de marzo del 2011, cuando la carpeta asfáltica ya había sido colocada en su totalidad. En esta ocasión se evaluaron ambos sentidos intercalados y se registraron los datos cada 50 m. Todas las mediciones de deflectometría se realizaron sobre la huella.

Adicionalmente, como antecedentes a este informe de auditoría técnica están los informes:

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 10 de 71
-------------------------------	---	-----------------

1. LM-AT-049-10 “Evaluación del desempeño de la Base Estabilizada, Capa de Ruedo, Seguridad Vial y Gestión Administrativa Proyecto de Mejoramiento de la Ruta Nacional No.613, sección: Sabalito-Las Mellizas Parte I”, en el que se evaluó la gestión técnica en lo referente a la condición observada de la base estabilizada y la carpeta asfáltica colocada en el proyecto, así como aspectos relacionados con la gestión administrativa en lo referente a contrataciones de apoyo para el control por parte de la administración y la seguridad vial.
2. LM-AT-146-10 “Evaluación de la mezcla asfáltica producida y colocada en el proyecto Sabalito-Las Mellizas”, en el que se presentaron los resultados de ensayos realizados a la mezcla asfáltica.
3. LM-AT-159-10: “Evaluación del Índice de Regularidad Superficial (IRI) en la superficie de ruedo del proyecto Sabalito-Las Mellizas”. Se realiza una evaluación de la regularidad de la superficie de ruedo, la cual tiene implicaciones en el confort y transitabilidad de la ruta como en el desempeño y la durabilidad del pavimento a lo largo del tiempo.
4. LM-AT-183-10: “Evaluación de la calidad del material de Subbase y Agregado para Base Estabilizada en el proyecto de mejoramiento de la Ruta Nacional No 163, sección: Sabalito-Las Mellizas. En este informe se muestran los resultados de ensayos de laboratorio donde se determina la calidad de los materiales utilizados en base y subbase.

9. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

9.1. Evaluación estructural del pavimento

La evaluación estructural del pavimento consta de varias etapas que permiten garantizar un acertado diagnóstico del desempeño actual y futuro del proyecto, el cual se basa en las deflexiones que experimenta el pavimento al ser sometido al peso de los vehículos. Dichas deflexiones son un indicador muy importante del comportamiento de los pavimentos y se asocian directamente con la ocurrencia de agrietamientos por fatiga y deformaciones permanentes en la capa de rodamiento, tales como roderas; lo cual reduce la vida útil del pavimento.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 11 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Existen actualmente diversas técnicas para obtener dichas deflexiones, las cuales se basan en la teoría del pavimento como una estructura multicapa, cuyo comportamiento sigue la teoría de elasticidad. El equipo utilizado en el LanammeUCR para la evaluación de deflexiones en pavimentos, conocido como FWD por sus siglas en inglés (*Falling Weight Deflectometer*) o simplemente deflectómetro de impacto, utiliza esta metodología. El deflectómetro de impacto es 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, de tal manera que produzca una fuerza de reacción en el pavimento de 40 kN (566 MPa). Esta carga cae sobre un plato circular cuya área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por 9 sensores, el primero directamente en el plato de carga, y los demás dispuestos en un arreglo lineal con una longitud máxima de 180 centímetros. Con esta disposición es posible obtener además la forma y tamaño del cuenco de deflexiones (Figura 2), el cual se relaciona con aspectos como el espesor y rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada. Es posible, con un procedimiento de cálculo inverso (retrocálculo), determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento, así como su vida útil remanente.

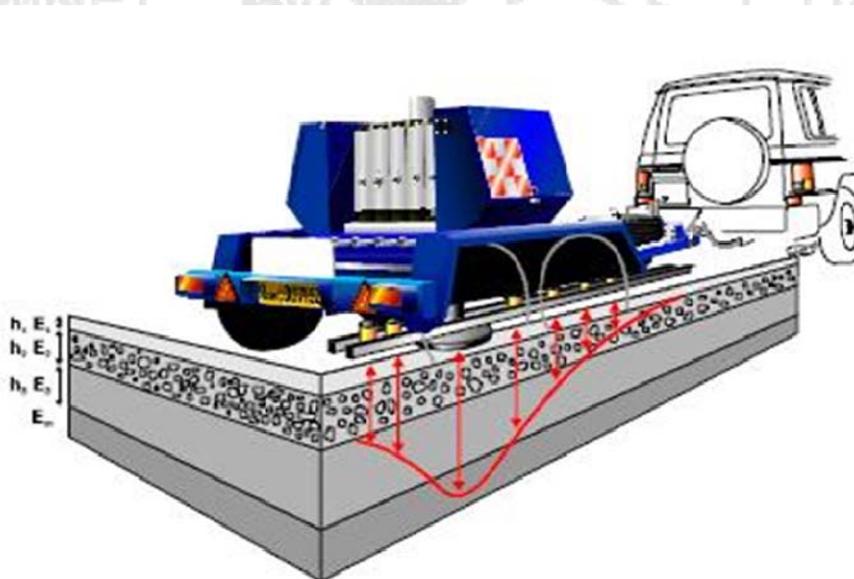


Figura 2. Cuenco de deflexiones producido por el equipo FWD

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 12 de 71
-------------------------------	---	-----------------



En la primera etapa de la evaluación estructural se realiza un retrocálculo de módulos que es esencialmente una evaluación mecanicista de la deflexión superficial del pavimento generada por el deflectómetro de impacto. El retrocálculo toma una deflexión medida en la superficie e intenta ajustarla con una deflexión teórica generada a partir de una estructura de pavimento con idénticas rigideces de capa (módulos).

Estas deflexiones teóricas son comparadas con las deflexiones medidas y los módulos asumidos son ajustados en un proceso iterativo hasta que las deflexiones teóricas y las medidas se igualen (en un rango aceptable). El proceso suele ser iterativo y normalmente se hace por medio de un software de computadora, para este informe se utilizó el software Elmod de la compañía Dynatest International. Los módulos derivados de esta forma son considerados representativos de la respuesta del pavimento bajo cargas de tránsito y son usados para calcular los esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento para propósitos de análisis. Este análisis constituye la segunda etapa de la evaluación estructural.

En la tercera etapa, se evalúa el daño acumulado y se predice el desempeño del pavimento mediante modelos de fatiga, utilizando como insumo los esfuerzos y las deformaciones calculados previamente. El análisis que se realiza en esta etapa permite estimar la vida remanente de la estructura así como cuantificar su capacidad estructural actual.

Como complemento de la evaluación estructural, se realizó un análisis del diseño del pavimento asfáltico propuesto por la ingeniería de proyecto de CONAVI y colocado en el proyecto en estudio.

Este análisis se desarrolla a partir de un conteo vehicular realizado en el proyecto del 13 al 20 de octubre del 2011, con el objetivo de obtener el flujo y la distribución vehicular del mismo y así poder determinar los ejes equivalentes de diseño para un periodo de 12 años.

El contador vehicular se colocó en el estacionamiento del proyecto 14+656, frente a la estación policial de San Miguel de Sabalito, (punto de GPS 340) coordenadas N8 51.403 W82 52.617, tal como se puede observar en la Figura 2.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 13 de 71
-------------------------------	---	-----------------

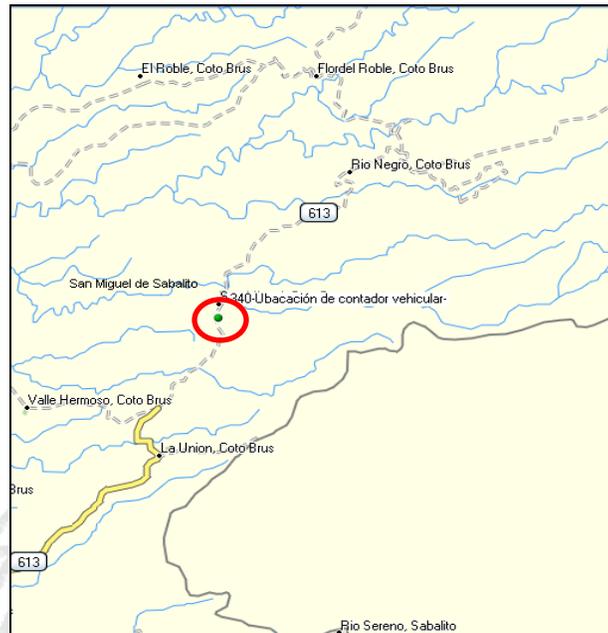


Figura 3. Ubicación del contador en el proyecto

Cabe destacar que el contador se colocó el día 13 de octubre del 2011 a las 10:00 am y se recogió el día jueves 20 de octubre a las 8:00 am, por lo que se completó con una semana de mediciones. El tránsito promedio diario (TPD) obtenido fue de 764 y a partir del procesamiento de estos datos se obtuvo el valor de los ejes de diseño ($ESALs_{12} = 158.576$ vehículos) para un periodo de 12 años.

Para tener una perspectiva del tránsito que circula por este proyecto, la Tabla 1 presenta el TPDA de varias carreteras nacionales.

Tabla 1. TPDA de varias rutas nacionales.

Descripción	Estación	TPD
Ruta N°1, General Cañas	101	80.023
Ruta N°39, Circunvalación	743	60.857
Ruta N°34, Costanera Sur	653	3.331
Ruta N°35, San Carlos	149	4.783
Ruta N°21, Nicoya	729	3.767
Ruta N° 613, Sabalito-La Unión	ND	388

Fuente: Dirección de Planificación Sectorial, MOPT

ND: no disponible

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 14 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Posteriormente se procedió a revisar el diseño utilizando la metodología de AASTHO-93, para la cual se utilizan:

- Los valores de módulos obtenidos del retrocálculo a partir del análisis descrito anteriormente.
- Los valores de coeficiente estructural de la carga “a” de la metodología AASTHO 93
- Los valores de coeficiente de drenaje de la capa “m” aportados por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes de CONAVI en la memoria de cálculo adjunta al oficio DII-10-1020. Sin embargo, este valor de “m” reportado fue corregido por el equipo de auditoría en su análisis, ya que el reportado por el CONAVI no existe de acuerdo con la metodología AASHTO 93.

De esta forma se determinaron los espesores para las condiciones de tránsito de la zona y los materiales colocados en sitio.

9.2. Índice de Condición del Pavimento (PCI)

La metodología aplicada para la determinación del Índice de Condición del Pavimento en el proyecto Sabalito-Las Mellizas, está basada en la norma ASTM D6433-03 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys).

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tomara en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad, tiene sobre la condición del pavimento.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 15 de 71
-------------------------------	---	-----------------

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En Tabla 2 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 2. Rangos de clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys)

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad que cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

10. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-158B-11

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-175-11 del 16 de diciembre del 2011 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-158B-11 a la parte auditada para que sea analizado y de requerirse, se proceda a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, por lo que se otorga un plazo de 10 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar. Considerando el final de año, este plazo vencía el 11 de enero del 2012.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 16 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Posterior al envío del informe preliminar se le brinda audiencia a la parte auditada para que se refiera al informe preliminar, el día 23 de enero 2012 en donde se realizó la presentación del informe LM-PI-AT-158B-11 y en la que participaron los ingenieros Álvaro Ulloa, Director de Proyecto, Orlando Vargas, Ingeniero de Proyecto, Ing. Alexander Cerdas en representación del Lic. Reinaldo Vargas, Auditor Interno y las ingenieras Sofía Rodríguez y Francini Chinchilla en representación del Ing. Johnny Barth Ramírez.

Tomando en cuenta los comentarios y observaciones realizados en esta reunión, se envió el oficio LM-AT-26-12 del 25 de enero 2012 emitido por la Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc.Eng., Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica, con documentación solicitada y considerada relevante por el Ing. Alvaro Ulloa Murillo y a la vez se comunica que como última prórroga, el plazo final para la presentación de los comentarios a dicho informe sería el viernes 3 de febrero del 2012.

En cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica y vencido el plazo indicado sin recibir comentarios al informe preliminar por parte de los auditados, se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-158-11 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.

11. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo Auditor en este informe, se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría; el levantamiento en campo y el análisis propio de las evidencias.

Se entiende como "hallazgo de auditoría técnica", un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 17 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Por otra parte, una “observación de auditoría técnica” se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Por lo tanto, las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones, deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que adviertan sobre el riesgo potencial del incumplimiento.

11.1. Resultados de la Auditoría Técnica

11.1.1. Sobre la evaluación estructural del pavimento

Se realizó una evaluación estructural utilizando la metodología de retrocálculo de módulos para poder estimar tanto la capacidad estructural así como la vida útil remanente del proyecto. Los resultados de dicho retrocálculo se presentan en las siguientes secciones.

Observación 1: El 90% de la ruta nacional N°613, sección Sabalito-Las Mellizas, se encuentra en buena condición estructural según la clasificación mediante las deflexiones medidas con el FWD.

Como parte de los proyectos de investigación científica realizados en el LanammeUCR en el año 2008 (informe N° UI-PE-03-08), se elaboraron rangos de deflectometría superficial con base en el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) que presenta cada ruta. Estos rangos, que aparecen en la Tabla 3, tienen por objeto representar más fielmente las condiciones reales de uso de las rutas nacionales, específicamente las rutas con bases estabilizadas, por lo que son utilizados desde la campaña de evaluación del año 2008 para clasificar los resultados.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 18 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 3. Rangos de deflexión según TPDA, utilizados para clasificar resultados de deflectometría.

TPDA (vehículos por día)	menor a 5000 vpd	5000 – 15000 vpd	15000 – 40000 vpd	Casos Particulares ^(*)
Categoría	TPDA Bajo	TPDA Moderado	TPDA Alto	Particulares
Categorías deflexión	Rangos (en mm ⁻²)			
Bajas	menor a 36,4	menor a 32,4	menor a 31,7	menor a 24,5
Moderadas	36,4 – 39,7	32,4 – 36,7	31,7 – 35,9	24,5 – 26,9
Altas	39,7 – 53,3	36,7 – 50,4	35,9 – 50,5	26,9 – 38,0
Muy Altas	mayor a 53,3	mayor a 50,4	mayor a 50,5	mayor a 38,0

^(*) Corresponden a rutas con alto TPDA y porcentaje alto de vehículos pesados, tales como la ruta 1 Carretera General Cañas, tramo La Uruca – entrada a Naranjo y la ruta 32, tramo Puente sobre el Río Virilla - Limón

La Ruta Nacional N° 613, sección Sabalito-Las Mellizas se encuentra en la categoría de TPD bajo según la Tabla 3, al contar con un TPD de 724. Basado en esta información, se generó la clasificación del proyecto según las deflexiones medidas por el LanammeUCR. El resultado de dicha clasificación se puede observar en la Figura 4.

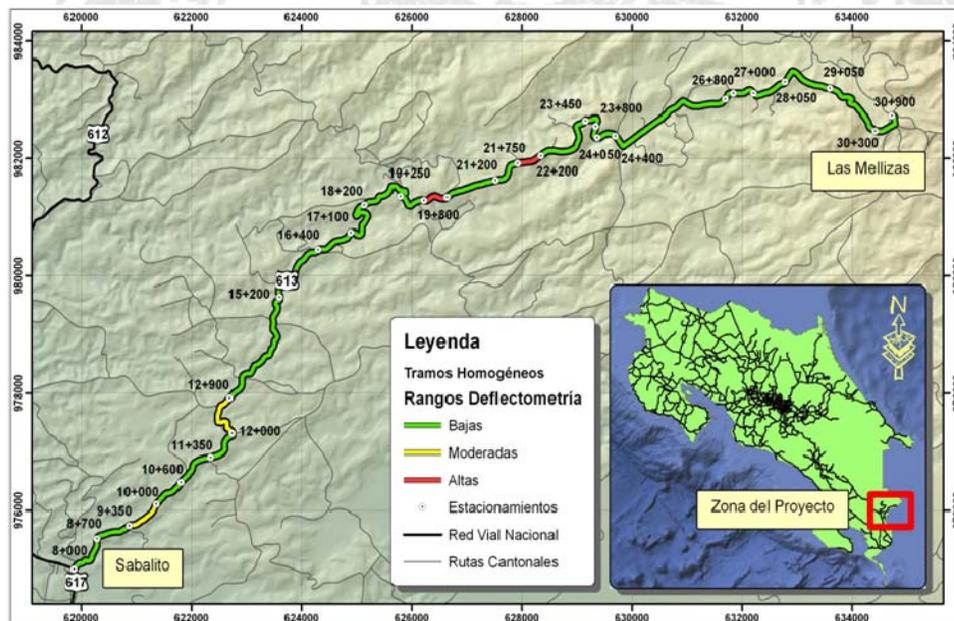


Figura 4. Resultados obtenidos con deflectometría FWD para el proyecto Sabalito-Las Mellizas

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 19 de 71
-------------------------------	---	-----------------

En general, se observa que la mayor parte de la vía presenta deflexiones bajas, lo que implica que las condiciones estructurales son aceptables, sin embargo hay un 6,8% de deflexiones moderadas y un 4,4% de deflexiones altas. Asimismo, la Tabla 4 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales; la Figura 5 muestra en forma gráfica este resultado.

Tabla 4. Deflexiones FWD obtenidas para el proyecto Sabalito-Las Mellizas

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas según rango del TPDA	20,26	88,8
Moderadas según rango del TPDA	1,55	6,8
Altas según rango del TPDA	1,00	4,4
Total	22,81	kilómetros

Se deriva que aproximadamente el 90% del proyecto Sabalito-Las Mellizas se encuentra en buen estado según el parámetro de deflexión FWD, con base en los rangos presentados. No obstante, 2,55 km presentan deflexiones altas (mal estado), lo cual revela una condición de deterioro avanzado, condición que no debería exhibir una estructura de pavimento con menos de dos años de servicio. Cabe destacar que las mediciones de deflectometría se realizaron sobre la base estabilizada después de construida, en junio del 2010 y sobre la carpeta asfáltica en el período de febrero a marzo del 2011. Este aspecto de deterioros fue contemplado previamente en el informe de auditoría técnica LM-AT-049-2010, en el cual el equipo auditor evidenció deterioros prematuros en la base estabilizada identificados entre el estacionamiento 9+107 y el estacionamiento 30+562, a sólo 4 meses haber sido construida la capa de base estabilizada.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 20 de 71
-------------------------------	---	-----------------

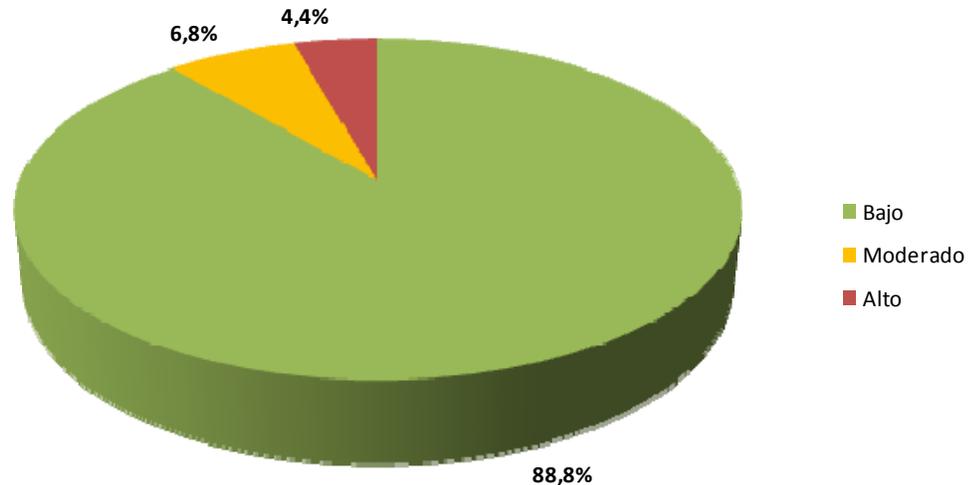


Figura 5. Estado general de la Ruta Nacional 613 según los valores de deflexión.

Observación 2: Los módulos retrocalculados de la base estabilizada muestran valores inferiores a los típicos.

Como parte de la evaluación estructural detallada, se realizaron varias mediciones con el deflectómetro de impacto y posteriormente se procedió a realizar el retrocálculo de módulos para valorar la rigidez de las capas. Los resultados detallados de las deflexiones medidas se pueden observar en el Anexo 1 (I-0607-10 e I-0234-11). Estas deflexiones son utilizadas como insumos en el programa de retrocálculo ELMOD para determinar los módulos de las diferentes capas que componen la estructura del pavimento del proyecto.

Modelación del pavimento

La Tabla 5 muestra los espesores y las características conocidas de los materiales que constituyen la estructura del pavimento. Los espesores fueron tomados de la información de la Orden de Modificación 1, de fecha 02 de marzo del 2008, documento con el consecutivo D-DO-09-0369. Las propiedades de los materiales de cada capa fueron tomadas de los informes de control y verificación de calidad del proyecto y los módulos se basan en las correlaciones encontradas en la literatura de referencia.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 21 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 5. Descripción de las propiedades de los materiales que constituyen la estructura de pavimento del proyecto.

Descripción	Espesor (cm)	Especificaciones CR-77	Propiedades de los Materiales del Proyecto	Módulo Teórico, psi (MPa)
Carpeta asfáltica	5	Estabilidad Marshall > 1.100 kg	Estabilidad Marshall 1720 ^(a)	600.000 (4100) ⁽¹⁾
Base estabilizada BE-25	20	Resistencia a la compresión promedio: 30 kg/cm ²	Resistencia a la compresión promedio: 50 kg/cm ² ^(b)	750.000 (5,171) ⁽²⁾
Subbase granular	30	CBR≥30%	CBR = 44% ^(b)	15.000 (103) ⁽³⁾
Préstamo	±20	CBR≥10%	CBR = 37% ^(b)	14.500 (103) ⁽³⁾
Subrasante	NA	NA	CBR = 5%, limo ^(b)	6.000 (41) ⁽⁴⁾

^(a) Valor promedio tomado del diseño de mezcla

^(b) Valor promedio tomado del control y verificación de la calidad

⁽¹⁾ Figura 7.13 Yang Huang

⁽²⁾ Figura 2.8 AASHTO 93

⁽³⁾ Figura 2.7 AASHTO 93

⁽⁴⁾ Figura 7.10 Yang Huang

NA: No aplica

Con el fin de modelar adecuadamente el pavimento y validar los resultados del retrocálculo, se consideraron los aspectos señalados en la Tabla 5, así como algunos temas críticos tales como criterios de convergencia, efectos del comportamiento no-lineal de los materiales granulares, efecto de la capa rígida bajo la subrasante, efecto de los espesores de capa y la rigidez relativa. Una vez analizados los temas críticos, se procedió a modelar la estructura del pavimento del proyecto Sabalito-Las Mellizas. La Figura 6 compara la estructura existente del pavimento con la estructura que se modeló en ELMOD, basándose en los supuestos y temas críticos comentados.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 22 de 71
-------------------------------	---	-----------------

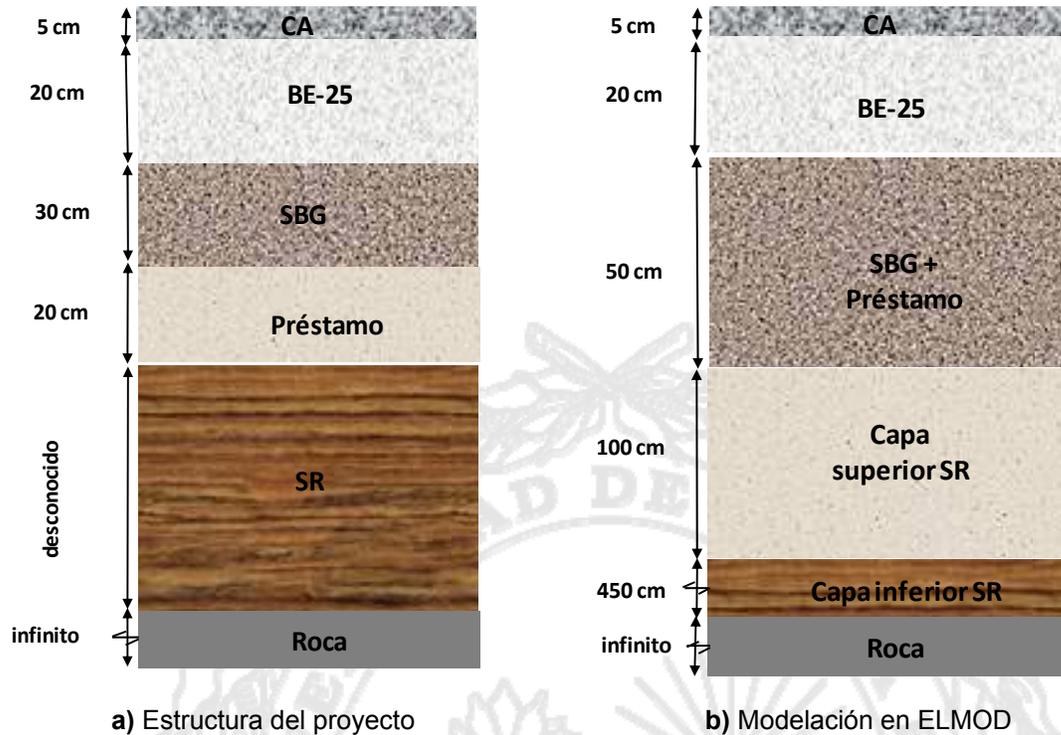


Figura 6. Esquemas de la estructura de pavimento utilizada en el proyecto (a) y la modelación realizada para el retrocálculo (b).

Resultados del retrocálculo de módulos

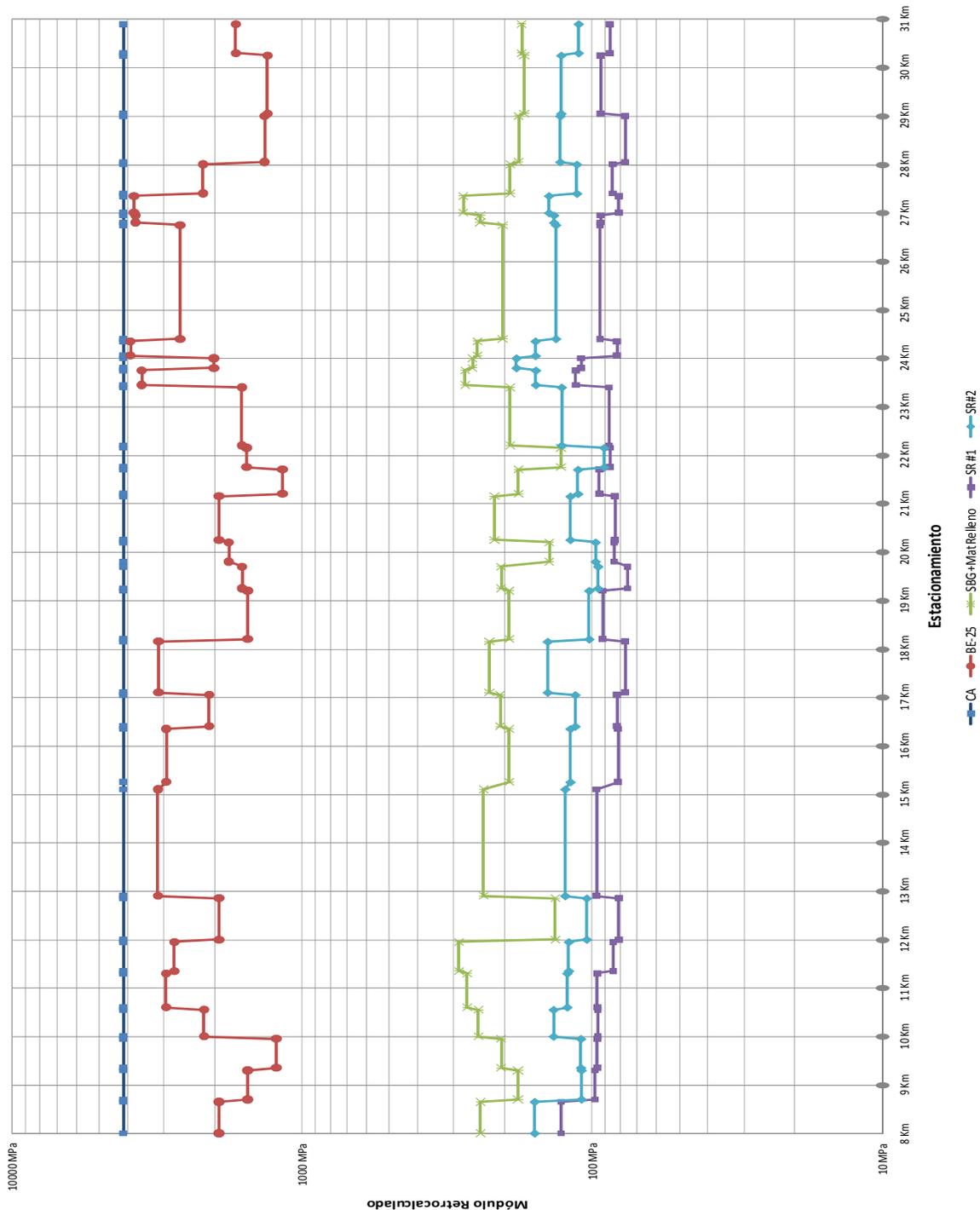
El proyecto Sabalito-Las Mellizas consta de 22,8 km y se subdividió en tramos homogéneos utilizando el programa estadístico SPEC®. En total se obtuvieron 28 tramos homogéneos y el resumen de los resultados del retrocálculo de módulos se muestra en la Tabla 6 y en la Figura 7. Se utilizó la metodología de mejor ajuste del cuenco de deflexiones, la cual se basa en la teoría de Odemark-Boussinesq donde el criterio de convergencia se fundamenta en el grado de ajuste entre el cuenco de deflexiones calculado y el cuenco medido. Esta metodología también permite analizar los materiales que poseen comportamientos no-lineales.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 23 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 6. Resultados de retrocálculo del proyecto Sabalito – Las Mellizas, en MPa.

Tramo homogéneo	Ubicación (km)		Carpeta asfáltica (MPa)	Base estabilizada (MPa)	Subbase granular + préstamo (MPa)	Subrasante superior (MPa)	Subrasante inferior (MPa)	RMS (%)
	Inicio 8+000	De Hasta						
1	8+000	8+675	4.137,00	1.936,00	243,00	128,00	158,00	2,38
2	8+675	9+325	4.137,00	1.540,00	180,00	98,00	109,00	0,83
3	9+325	9+975	4.137,00	1.630,00	205,50	96,00	109,50	1,46
4	9+975	10+575	4.137,00	2.246,00	247,00	95,50	136,00	2,00
5	10+575	11+325	4.137,00	2.488,50	270,00	96,00	122,00	1,42
6	11+325	11+975	4.137,00	2.473,00	288,00	84,50	120,50	1,95
7	11+975	12+875	4.137,00	1.611,50	134,00	81,00	104,50	2,06
8	12+875	15+075	4.137,00	3.150,50	237,00	96,50	124,00	1,88
9	15+075	16+375	4.137,00	2.794,50	193,50	81,50	119,00	1,46
10	16+375	17+075	4.137,00	2.856,50	207,50	82,00	114,50	2,20
11	17+075	18+175	4.137,00	3.533,00	226,00	77,00	142,50	1,36
12	18+175	19+225	4.137,00	1.920,50	193,50	92,00	102,50	1,31
13	19+225	19+775	4.137,00	1.667,00	206,00	75,50	95,50	1,44
14	19+775	20+225	4.137,00	1.189,50	140,50	84,00	97,50	5,86
15	20+225	21+175	4.137,00	1.814,00	217,00	83,50	119,00	2,11
16	21+175	21+725	4.137,00	1.308,50	179,50	94,50	112,00	1,50
17	21+725	22+175	4.137,00	1.359,00	128,00	87,00	91,00	1,17
18	22+175	23+425	4.137,00	1.811,50	191,50	87,50	127,50	2,74
19	23+425	23+775	4.137,00	2.700,00	274,50	114,00	156,50	1,71
20	23+775	24+025	4.137,00	2.114,50	258,00	109,00	182,50	3,88
21	24+025	24+375	4.137,00	2.544,00	248,50	82,00	157,00	2,42
22	24+375	26+775	4.137,00	2.333,00	203,50	94,00	133,50	2,86
23	26+775	26+975	4.137,00	3.379,00	243,50	93,50	135,50	1,00
24	26+975	27+375	4.137,00	4.329,50	278,00	81,00	141,00	2,24
25	27+375	28+025	4.137,00	2.262,50	192,00	85,00	113,00	1,08
26	28+025	29+025	4.137,00	2.299,50	179,00	77,00	129,00	1,50
27	29+025	30+275	4.137,00	2.187,50	171,50	93,50	128,00	1,00
28	30+275	30+925	4.137,00	1.843,50	175,00	87,00	111,50	1,24
Promedio			4.137,00	2.261,52	211,11	90,57	124,71	1,93
Valor mínimo			4.137,00	1.189,50	128,00	75,50	91,00	0,83
Valor máximo			4.137,00	4.329,50	288,00	128,00	182,50	5,86

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 24 de 71
-------------------------------	---	-----------------



(*) En el Anexo 2 se incluye tabla en unidades psi.

Figura 7. Resultados de retrocálculo del proyecto Sabalito – Las Mellizas.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 25 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Los módulos mostrados en la Tabla 6 y en la Figura 7 son el resultado final de un proceso iterativo en donde se estiman módulos iniciales y posteriormente se verifica el error entre la curva de deflexiones medida y la calculada hasta llegar a un valor aceptable, donde el programa converja en niveles de módulos razonables.

Para este análisis se utilizó el error cuadrático medio (RMS), el cual generalmente se toma como aceptable si se encuentra en un rango inferior a 4% (diferencia absoluta). El error cuadrático medio de cada tramo mostrado en la Tabla 6 indica que las curvas de deflexiones calculadas por el retrocálculo se asemejan a las curvas medidas, ya que los valores se mantienen en los rangos aceptables. El promedio del error cuadrático fue de 1,93% y todos los valores excepto uno, se mantuvieron con valores inferiores a 4%, como se puede observar también en la Figura 8. El tramo homogéneo con mayor error es el que se ubica entre los kilómetros 19+775 y 20+225, con un valor de 5,86% (6,36 micrones); el cual presenta módulos inferiores al promedio. Esto podría indicar que la variabilidad de los datos de deflectometría en este tramo pudo haber afectado el resultado del retrocálculo, sin embargo, no se puede descartar del análisis. Con excepción de este tramo, el resto de resultados obtenidos se consideran como válidos.

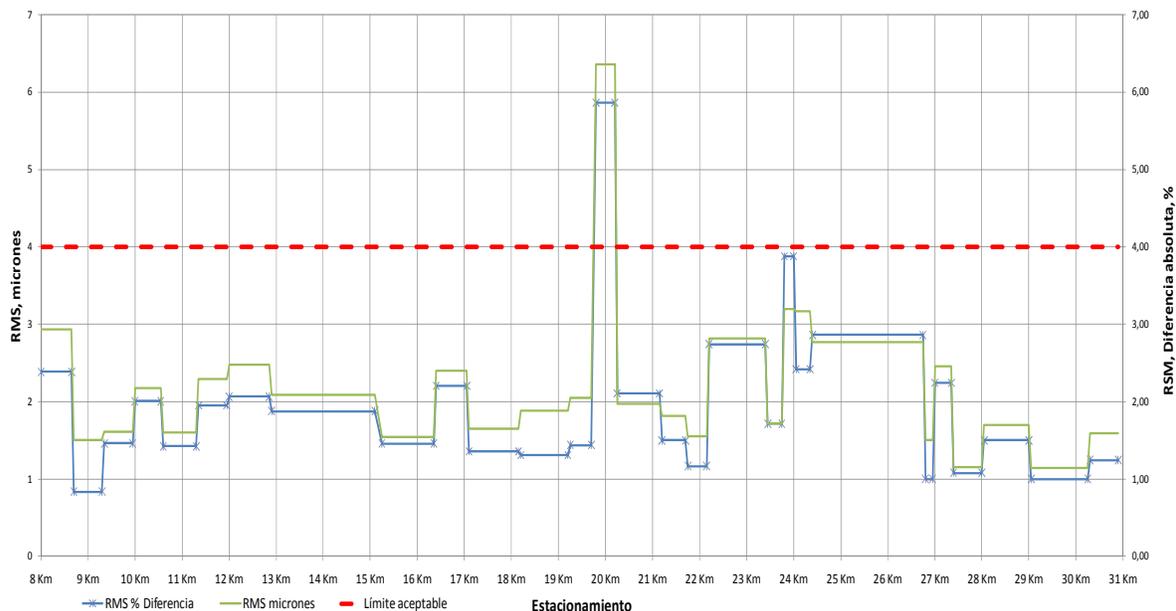


Figura 8. Error cuadrático medio (RMS) para cada tramo homogéneo del proyecto Sabalito-Las Mellizas

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 26 de 71
-------------------------------	---	-----------------

El valor del módulo de la carpeta asfáltica se estimó con base en relaciones empíricas que relacionan la estabilidad Marshall con el módulo elástico de la carpeta asfáltica, debido a que el espesor de la misma es inferior al mínimo necesario para lograr obtener resultados de retrocálculo razonables. Por tanto, el valor se estimó siguiendo estos supuestos y se mantuvo constante para todo el análisis de retrocálculo.

La base estabilizada con cemento BE-25 presentó valores de módulo entre 1.190 y 4.330 MPa (173.000 y 630.000 psi), para un promedio de 2.262 MPa (330.000 psi). Este valor promedio es 55% menor al valor de módulo considerado en el diseño estructural ($M_r \text{ base} = 4.100 \text{ MPa} = 600.000 \text{ psi}$), lo cual significa que la rigidez de la base es inferior a lo esperado. Adicionalmente, al comparar los módulos retrocalculados con los valores típicos indicados en la Guía para Bases Tratadas con Cemento de la PCA ($4.100 - 6.900 \text{ MPa} = 600.000 - 1.000.000 \text{ psi}$)¹, se tiene que sólo un valor se encuentra dentro de este rango, según se puede observar en la Figura 9.

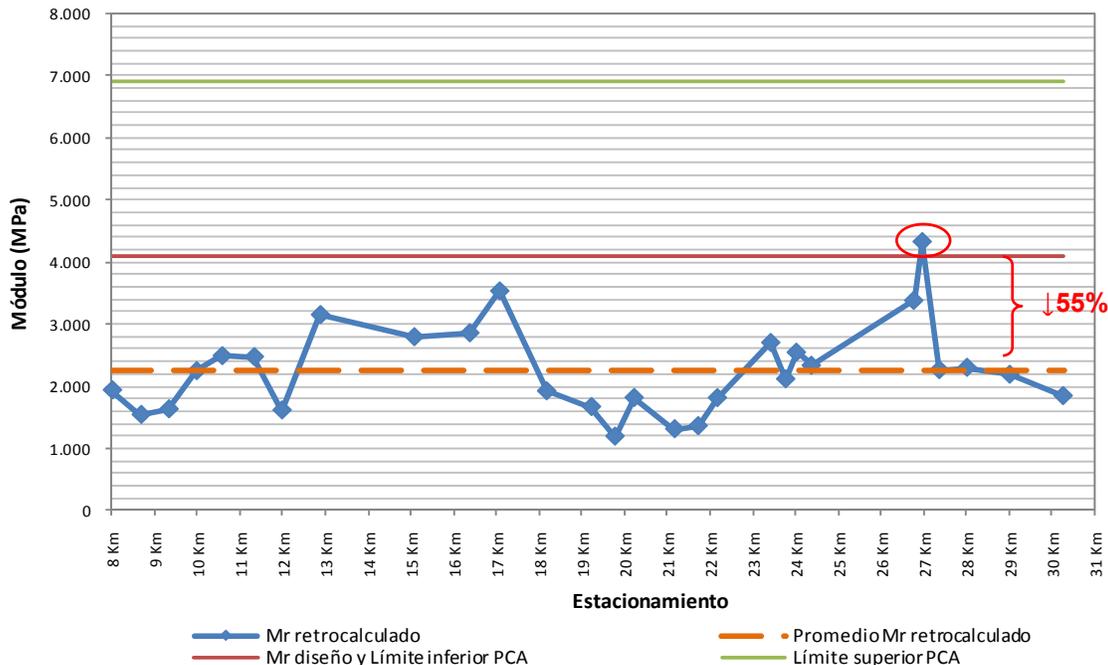


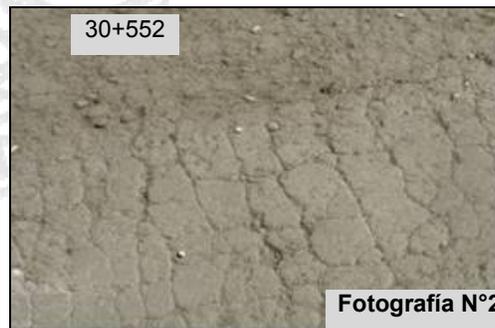
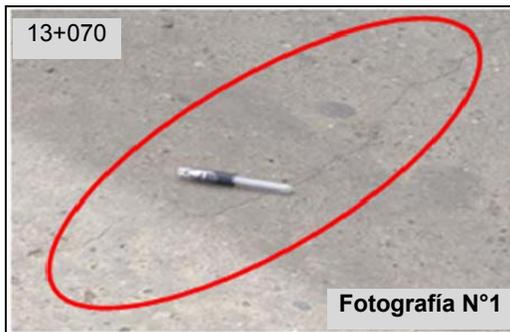
Figura 9. Comparación de módulos retrocalculados con valores típicos.

¹ PCA. Portland Cement Association. Guide to Cement-Treated Base (CTB). 2006.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 27 de 71
-------------------------------	---	-----------------

La disminución en la rigidez de la base estabilizada puede estar asociada a los deterioros prematuros que se presentaron en la sección auditada (Fotografías N°1 a N°6), los cuales fueron documentados en el informe de Auditoría Técnica LM-AT-49-2010 “Evaluación del desempeño de la base estabilizada, capa de ruedo, seguridad vial y gestión administrativa: Mejoramiento de la ruta nacional N°613, sección: Sabalito-Las Mellizas” (Ver Fotografías N°1 a N°6).

1. Agrietamientos en la capa de base estabilizada.



2. Huecos (bacheados con mezcla asfáltica)



3. Desprendimiento de agregados



Fotografías N°1 a N°6. Deterioros prematuros de la base estabilizada. Fecha: 10 al 12 de mayo 2010.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 28 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tal como se mencionó en dicho informe, es criterio de esta Auditoría Técnica que los deterioros prematuros fueron causados principalmente por las altas resistencias a la compresión simple obtenidas a los 7 días, así como a otras debilidades en el control de calidad y en el proceso constructivo. De acuerdo con los resultados de la resistencia a la compresión de la base estabilizada que fue muestreada y ensayada por el LanammeUCR, todas los especímenes muestreados presentaron valores muy superiores a la resistencia mínima especificada en el CR-77 ($>30\text{kg/cm}^2$) e incluso a los valores típicos indicados en la Guía para Bases Tratadas con Cemento de la PCA (21 a 55kg/cm^2), como se puede observar en la Figura 10.

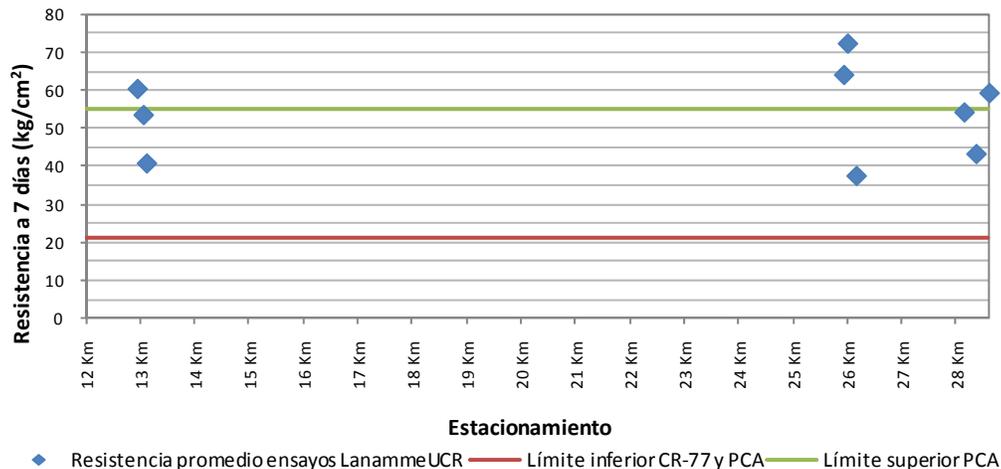


Figura 10. Comparación de resistencia a la compresión de la BE-25 con respecto a especificaciones

La alta resistencia en la base estabilizada implica una capa más rígida por tanto susceptible al agrietamiento. Según la Guía para Bases Tratadas con Cemento de la PCA, la principal razón para limitar la resistencia es minimizar el agrietamiento por contracción causado por altos contenidos de cemento y agua. Al contener más cemento por cm^2 , el material de base se vuelve más frágil y más susceptible a la contracción, lo cual podría implicar agrietamientos severos y posteriormente, afectar de forma negativa la vida útil y el desempeño a largo plazo de la estructura del pavimento. La Tabla 7 muestra la relación

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 29 de 71
-------------------------------	---	-----------------

entre la resistencia a la compresión obtenida de los ensayos de laboratorio del LanammeUCR y su vulnerabilidad al agrietamiento. Se puede observar que la mayor parte de las muestras tomadas se encuentran en rangos donde el posible agrietamiento es de moderado a severo.

Tabla 7. Vulnerabilidad al agrietamiento de la base estabilizada

N° Informe LanammeUCR	Estacionamiento	Resistencia a la compresión Promedio (kg/cm ²)	Posible agrietamiento ^(*)
I-0349-10	12+960	60,4	alto a severo
	13+070	53,5	moderado a alto
	13+130	40,7	moderado a alto
I-0363-10	25+930	64,1	alto a severo
	26+000	72,4	alto a severo
	26+160	37,4	leve a moderado
I-0459-10	28+600	59,3	alto a severo
	28+360	43,2	moderado a alto
	28+140	54,2	moderado a alto

(*) Ing. Mario Arce, Boletín PITRA # 20.

Por su parte, el material de subbase en combinación con el material de préstamo muestra un módulo resiliente promedio de 211 MPa, el cual es un valor aceptable para este tipo de material granular. De igual forma, para el material de subrasante se obtuvieron resultados entre rangos aceptables, obteniendo para la capa superior un módulo resiliente promedio de 91 MPa, valor ligeramente menor a la capa inferior de la subrasante, la cual posee un valor de módulo de 125 MPa. Esta diferencia se debe a que la capa superior de la subrasante está más expuesta a la saturación y su rigidez se ve más influenciada por los cambios climáticos.

Observación 3: La estructura de pavimento colocada en el proyecto Sabalito-Las Mellizas muestra un desempeño satisfactorio en cuanto a resistencia al agrietamiento por fatiga para el período de diseño a excepción de los tramos 19+775 y 20+225 (tramo 14) y 21+750 y 22+200 (tramo 17).

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 30 de 71
-------------------------------	---	-----------------



El agrietamiento por fatiga y la deformación permanente son dos de los deterioros más comúnmente encontrados en los pavimentos flexibles, los cuales pueden restarle vida útil al pavimento si no se atienden a tiempo. Sin embargo, en el caso del proyecto Sabalito-Las Mellizas, se cuenta con un pavimento “semi-rígido”, llamado así porque posee una carpeta asfáltica (flexible) sobre una base estabilizada (rígida). La rigidez de este tipo de pavimentos permite minimizar las deformaciones permanentes en la subrasante, lo cual es una ventaja en comparación con los pavimentos flexibles. No obstante, la desventaja mayor de este tipo de pavimentos es que la base estabilizada puede presentar agrietamientos debido a la contracción y esas grietas tienden a propagarse a través de la carpeta asfáltica. Este fenómeno se llama reflejo de grietas, y también puede reducir la vida útil del proyecto si se produce un alto nivel de agrietamiento.

Adicionalmente, los materiales tratados con cemento son por naturaleza frágiles y por tanto más sensibles a las condiciones de tránsito pesado. El agrietamiento por fatiga puede causar un daño considerable en el pavimento, especialmente cuando éste se desarrolla en puntos donde existen grietas por contracción. Por este motivo, se considera que el desempeño de los pavimentos semi-rígidos está regido por el agrietamiento por fatiga y por el reflejo de grietas y no así por la deformación permanente.

La Figura 11 muestra el punto donde normalmente se analiza el pavimento flexible debido a que en ese punto se localizan las deformaciones críticas que producen el agrietamiento por fatiga. En los pavimentos semi-rígidos, la deformación horizontal por tracción localizada en el fondo de la base estabilizada con cemento es la que produce la falla por fatiga, y por tanto, el análisis se enfocó en dicho sitio.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 31 de 71
-------------------------------	---	-----------------

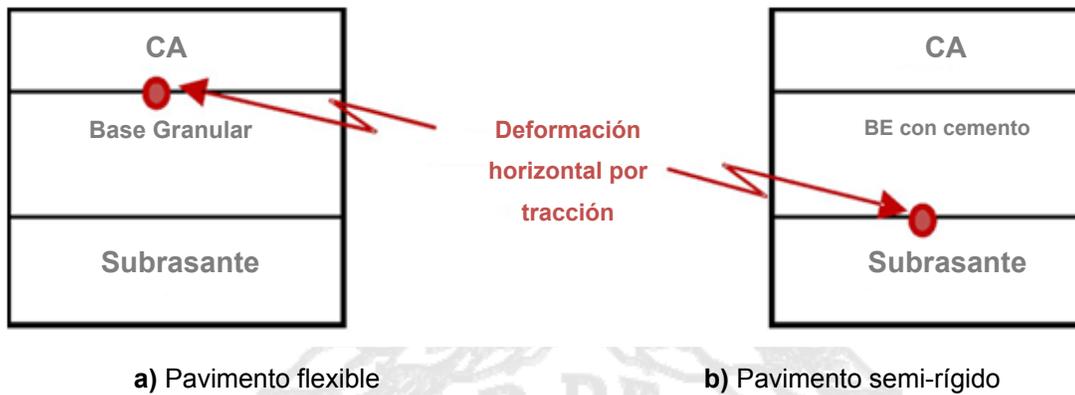


Figura 11. Esfuerzos y deformaciones críticas en la estructura del pavimento.

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos del análisis de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento del proyecto Sabalito-Las Mellizas. Los valores indicados en dicha tabla corresponden a los esfuerzos y deformaciones unitarias a tracción localizadas en la fibra inferior de la base estabilizada con cemento para cada tramo homogéneo. Asimismo, se detallan los módulos retrocalculados asociados con cada respuesta del análisis estructural. Se puede observar que el esfuerzo σ_t tiene en promedio un valor de 390 kPa, mientras que la deformación unitaria promedio ronda los 135 micrones.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 32 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 8. Esfuerzos y Deformaciones en la fibra inferior de la base estabilizada para cada tramo homogéneo.

# TRAMO	Módulo retrocalculado (Mpa)	Esfuerzo σ_t (kPA)	Deformación ϵ_t ($\mu\text{m/m}$)
1	1.936	49,48	129,44
2	1.540	348,3	164,46
3	1.227	338,29	152,13
4	2.180	375,38	120,63
5	2.944	382,44	110,75
6	2.762	371,49	108,91
7	1.932	408,59	178,64
8	3.142	460,6	102,24
9	2.933	471,26	117,23
10	2.094	464,46	113,35
11	3.124	502,38	98,31
12	1.539	384,11	143,17
13	1.608	346,62	151,67
14	1.788	338,4	206,96
15	1.932	353,84	141,91
16	1.169	316,09	178,98
17	1.553	379,25	198,73
18	1.614	373,99	148,41
19	3.570	394,63	104,84
20	2.016	352,07	121,7
21	3.904	405,18	113,52
22	2.638	417,76	126,63
23	3.759	473,32	97,66
24	3.802	515,17	82,26
25	2.195	423,05	131,85
26	1.344	440,43	134,15
27	1.315	431,97	138,6
28	1.693	392,99	151,77

Cuando el nivel de deformación unitaria en el fondo de la base estabilizada con cemento es menor a 60 micrones, el problema de fatiga no se considera crítico. En este caso, el valor mínimo de ϵ_t es igual a 82,26 micrones, por lo que se debe revisar el agrietamiento por fatiga para determinar si el pavimento podría presentar una condición crítica.

Modelos de agrietamiento por fatiga

El Programa de Cooperación Nacional para la Investigación en Carreteras (NCHRP) desarrolló en el 2006 un modelo basado en la relación de esfuerzos (σ_t/MR) para caracterizar el comportamiento a fatiga de los materiales químicamente estabilizados:

$$\log N_f = \frac{0.0774 \beta_{c1} - \left(\frac{\sigma_t}{MR}\right)}{0.0022 \beta_{c2}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

N_f = Número de repeticiones de carga para falla por fatiga de BE.

σ_t = Esfuerzo de tensión máximo producido en la parte inferior de la BE (psi).

MR= Módulo de Ruptura (Resistencia a Flexión) a 28 días (psi).

β_{c1}, β_{c2} = Factores de calibración en campo. $\beta_{c1}=1,0645$ $\beta_{c2}= 0,9003$

La Asociación de Cemento Portland (PCA) determinó una relación de fatiga que ha usado por muchos años para el diseño de pavimentos que contienen bases estabilizadas con cemento. Esta ecuación también es función de la relación de esfuerzos pero tiene forma exponencial como se muestra a continuación:

$$N_f = \left[\frac{\beta_{c3}}{\sigma_t/MR} \right]^{\beta_{c4}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

N_f = Número de repeticiones de carga para falla por fatiga de BE.

σ_t = Esfuerzo de tensión máximo producido en la parte inferior de la BE (psi).

MR= Módulo de Ruptura (Resistencia a Flexión) a 28 días (psi).

β_{c3}, β_{c4} = Factores de calibración en campo. $\beta_{c3}=1,0259$ $\beta_{c4}= 1,1368$

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 34 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Adicionalmente, el Departamento de Transportes de Queensland en Australia utiliza la siguiente relación para predecir el tiempo de vida de fatiga basada en la deformación horizontal a tensión producida en la fibra inferior de la base estabilizada con cemento y su módulo elástico:

$$N = \left[\frac{225664 + 190,7}{\mu\epsilon} \right]^{1,2}$$

Ecuación 3

Donde:

N= Número de repeticiones de carga.

$\mu\epsilon$ = Deformación horizontal máxima a tensión producida por la carga (micrones).

E = Módulo del material estabilizado (MPa).

Los tres diferentes modelos presentados permiten calcular el valor de N_f , que se refiere al número de ejes que la estructura del pavimento puede soportar sin fallar, es decir, sin presentar un agrietamiento severo por fatiga. En la Tabla 9 se pueden observar el número de repeticiones obtenida con cada modelo de fatiga y para cada tramo homogéneo.

La variabilidad presente en todos los modelos puede deberse en primer lugar a que los modelos fueron desarrollados para materiales y condiciones ambientales específicas. Asimismo, pequeñas variaciones en la relación de esfuerzos, producen variaciones significativas en el número de repeticiones. Se tiene además que, cuando la relación de esfuerzos es inferior a 0,55; el número de ciclos de carga para la falla (N_f) se incrementa con mayor rapidez.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 35 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 9. Comparación del número de ciclos para la falla de la base estabilizada (N_f)

# TRAMO	MR a 28 días (psi)	σ_t (psi)	Razón σ_t /MR	$\mu\epsilon$ (micrones)	Ecuación 1	Ecuación 2	Ecuación 3
1	112	49	0,44	129	9,23E+07	2,49E+08	2,89E+06
2	100	51	0,51	164	1,26E+07	1,55E+07	6,09E+05
3	89	49	0,55	152	3,16E+06	2,75E+06	6,30E+06
4	118	54	0,46	121	5,55E+07	1,18E+08	3,54E+06
5	138	55	0,40	111	3,22E+08	1,76E+09	2,19E+06
6	133	54	0,40	109	3,10E+08	1,66E+09	3,63E+06
7	112	59	0,53	179	6,00E+06	6,01E+06	6,13E+04
8	142	67	0,47	102	4,06E+07	7,55E+07	4,22E+06
9	137	68	0,50	117	1,72E+07	2,33E+07	1,13E+06
10	116	67	0,58	113	1,32E+06	9,90E+05	9,27E+06
11	142	73	0,51	98	1,03E+07	1,20E+07	6,93E+06
12	100	56	0,56	143	2,49E+06	2,07E+06	3,23E+06
13	102	50	0,49	152	1,90E+07	2,67E+07	1,25E+06
14	107	49	0,46	207	5,93E+07	1,30E+08	1,62E+04
15	112	51	0,46	142	5,45E+07	1,15E+08	9,71E+05
16	87	46	0,53	179	6,57E+06	6,73E+06	1,22E+06
17	100	55	0,55	199	3,36E+06	2,95E+06	5,98E+04
18	102	54	0,53	148	5,86E+06	5,84E+06	1,58E+06
19	152	57	0,38	105	7,06E+08	6,67E+09	1,76E+06
20	114	51	0,45	122	7,90E+07	1,97E+08	4,85E+06
21	159	59	0,37	114	8,73E+08	9,72E+09	4,63E+05
22	130	61	0,46	127	4,70E+07	9,31E+07	7,45E+05
23	156	69	0,44	98	9,79E+07	2,72E+08	3,30E+06
24	156	75	0,48	82	3,18E+07	5,37E+07	2,47E+07
25	119	61	0,52	132	9,61E+06	1,09E+07	1,17E+06
26	93	64	0,69	134	4,86E+04	3,11E+04	1,61E+07
27	92	63	0,68	139	5,82E+04	3,71E+04	1,24E+07
28	104	57	0,55	152	3,82E+06	3,45E+06	9,16E+05
Promedio	119	58	0,50	135	1,03E+08	7,58E+08	4,13E+06
Mínimo	87	46	0,37	82	48.636,52	31.146,78	16.191,60
Máximo	159	75	0,69	207	8,73E+08	9,72E+09	2,47E+07

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 36 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Estimación del deterioro de la estructura del pavimento.

Para la obtención del deterioro acumulado de la estructura de pavimento hasta su falla por fatiga, se utilizó la “Ley de Miner de Acumulación Lineal del Daño”. Esta ley indica que para cada período de tiempo, se obtiene el cociente entre el número de repeticiones correspondiente esperado para ese período, n , y el número de repeticiones admisibles, N_f , para limitar el desarrollo de fatiga. El daño total se calcula con la ecuación:

$$D = \sum_{i=1}^{\text{n}^{\text{o}} \text{ de períodos totales}} \frac{n \text{ (tráfico actual por período } i \text{)}}{N_f \text{ (tráfico permisible bajo condiciones prevaletentes en el período } i \text{)}} \quad \text{Ecuación 4}$$

El coeficiente de Daño, D , así obtenido, está asociado a la fatiga en el pavimento. Cuando el coeficiente de daño D sobrepasa el valor de 1, significa que se ha excedido la capacidad de resistir el agrietamiento por fatiga para el período para el cual se realizó la predicción. El inverso de D representa el tiempo, T (en años), en que se alcanzará el número de repeticiones admisible de falla por fatiga y es el que se debe comparar con el período de diseño deseado. La Tabla 10 muestra los resultados obtenidos al calcular este coeficiente de daño para el período de diseño de 12 años así como para otros períodos inferiores, con el fin de analizar el comportamiento de ciertos tramos que presentan coeficientes de daño mayores a 1.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 37 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 10. Coeficientes de daño del proyecto Sabalito-Las Mellizas

# TRAMO	D para 12 años (n= 1,59E+5)			D para 5 años (n=5,73E+4)			D para 1 año (n=2,11E+4)		
	Número de Ecuación de Agrietamiento por Fatiga								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0.002	0.001	0.055	0.001	0.000	0.020	0.000	0.000	0.007
2	0.013	0.010	0.261	0.005	0.004	0.094	0.002	0.001	0.035
3	0.050	0.058	0.025	0.018	0.021	0.009	0.007	0.008	0.003
4	0.003	0.001	0.045	0.001	0.000	0.016	0.000	0.000	0.006
5	0.000	0.000	0.073	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.010
6	0.001	0.000	0.044	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.006
7	0.026	0.026	2.593	0.010	0.010	0.935	0.004	0.004	0.345
8	0.004	0.002	0.038	0.001	0.001	0.014	0.001	0.000	0.005
9	0.009	0.007	0.141	0.003	0.002	0.051	0.001	0.001	0.019
10	0.120	0.161	0.017	0.043	0.058	0.006	0.016	0.021	0.002
11	0.015	0.013	0.023	0.006	0.005	0.008	0.002	0.002	0.003
12	0.064	0.077	0.049	0.023	0.028	0.018	0.008	0.010	0.007
13	0.008	0.006	0.128	0.003	0.002	0.046	0.001	0.001	0.017
14	0.003	0.001	9.817	0.001	0.000	3.539	0.000	0.000	1.307
15	0.003	0.001	0.164	0.001	0.000	0.059	0.000	0.000	0.022
16	0.024	0.024	0.130	0.009	0.009	0.047	0.003	0.003	0.017
17	0.047	0.054	2.658	0.017	0.019	0.958	0.006	0.007	0.354
18	0.027	0.027	0.100	0.010	0.010	0.036	0.004	0.004	0.013
19	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000	0.012
20	0.002	0.001	0.033	0.001	0.000	0.012	0.000	0.000	0.004
21	0.000	0.000	0.344	0.000	0.000	0.124	0.000	0.000	0.046
22	0.003	0.002	0.213	0.001	0.001	0.077	0.000	0.000	0.028
23	0.002	0.001	0.048	0.001	0.000	0.017	0.000	0.000	0.006
24	0.005	0.003	0.006	0.002	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001
25	0.017	0.015	0.135	0.006	0.005	0.049	0.002	0.002	0.018
26	3.268	5.103	0.010	1.178	1.840	0.004	0.435	0.679	0.001
27	2.730	4.287	0.013	0.984	1.545	0.005	0.363	0.571	0.002
28	0.042	0.046	0.174	0.015	0.017	0.063	0.006	0.006	0.023

Las celdas resaltadas en rojo muestran los coeficientes de daño que superan la unidad. Se observa que en su mayoría, los coeficientes de daño son muy inferiores al valor de 1, esto significa que, según los modelos de predicción de desempeño utilizados, la base estabilizada

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 38 de 71
-------------------------------	---	-----------------

con cemento no presentará problemas severos de agrietamiento por fatiga durante el período de diseño. No obstante, existen ciertos tramos homogéneos que presentaron valores superiores a 1, incluso cuando se analizan para períodos inferiores al período de diseño. Esos tramos críticos se localizan entre los kilómetros 19+775 y 20+225 (tramo 14) y entre 21+750 y 22+200 (tramo 17).

Asimismo, en la Figura 12 se comparan los resultados obtenidos utilizando el modelo de la NCHRP contra el modelo australiano, para los tramos homogéneos que presentaron valores críticos. Gráficamente se puede observar que el modelo australiano es más conservador y estima un número de repeticiones admisibles inferior con respecto al modelo de la NCHRP. Por ejemplo, para el tramo 7 se tiene que según el modelo australiano, la base estabilizada con cemento llegará a la falla en aproximadamente 6 años, mientras que según el modelo de la NCHRP, esta falla no se dará durante el periodo de diseño de 12 años.

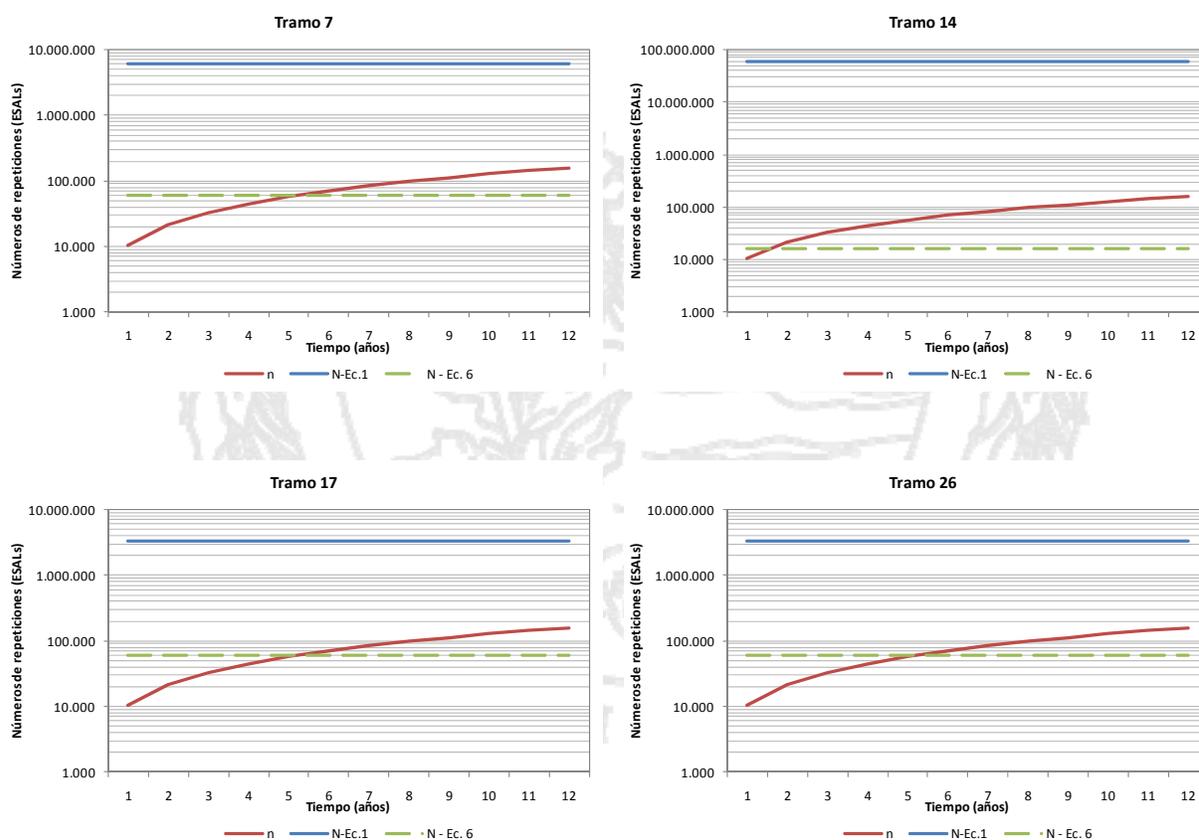


Figura 12. Comparación entre el tráfico de diseño(n) con respecto al número de repeticiones admisibles (N) para diversos tramos homogéneos.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 39 de 71
-------------------------------	---	-----------------



En general, se evidencia que la estructura de pavimento colocada en el proyecto Sabalito-Las Mellizas muestra un desempeño satisfactorio en cuanto a resistencia al agrietamiento por fatiga, según el análisis estructural realizado. Sin embargo, los valores de módulo retrocalculados indican que la base estabilizada puede presentar agrietamientos, provocando el reflejo de las mismas a la carpeta asfáltica, lo cual disminuiría la vida remanente de la estructura.

11.1.2. Sobre el dimensionamiento de la estructura del pavimento

Observación 4: La elección de la alternativa de diseño para la construcción de la estructura del pavimento, en términos de inversión no fue la más eficiente que se requería para soportar las cargas en el periodo de diseño.

La alternativa seleccionada por la Administración para construir la estructura del pavimento del proyecto sobre la Ruta Nacional N° 163, sección: Sabalito-Las Mellizas no es en términos de inversión económica, la elección más eficiente para soportar las cargas de tránsito impuestas en el periodo de diseño determinado (12 años) y por ende resulta en una estructura de pavimento más cara y consecuentemente en una mayor inversión para la Administración, no solo en lo relacionado al costo de la obra como inversión inicial sino al mantenimiento requerido por la misma a lo largo del tiempo.

Para obtener un panorama completo el equipo de Auditoría Técnica realizó un análisis donde se procedió a elaborar diferentes escenarios (opciones de diseño de espesores) en donde se muestra tanto los espesores requeridos según las condiciones del proyecto para soportar las cargas de diseño en el periodo de tiempo determinado, como, los espesores de las capas de materiales colocados en el proyecto.

Cabe recalcar que tal y como se mencionó anteriormente para determinar la capacidad estructural del pavimento a partir de las deflexiones medidas en el proyecto, es necesario conocer la estructura interna del pavimento, el tránsito y su distribución. Por lo que el análisis

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 40 de 71
-------------------------------	---	-----------------

realizado en la sección anterior y el conteo vehicular realizado, son de suma importancia para determinar estos escenarios, ya que proveen la información necesaria para determinar los espesores requeridos según las propiedades específicas de los materiales colocados y las condiciones de flujo vehicular de la zona.

Con el propósito de aplicar la metodología de diseño de AASTHO-93 y determinar de esta manera la composición del paquete estructural (espesores de las capas de los materiales) necesario para soportar las condiciones de tránsito de la zona con los materiales seleccionados para un periodo de diseño, se colocó en el proyecto un contador vehicular durante una semana (13 al 20 de octubre del 2011) con el fin de obtener el flujo y la distribución vehicular del proyecto para calcular el número de ejes equivalentes de diseño.

Conjuntamente se realizó una evaluación estructural utilizando la metodología de retrocálculo de módulos que se describe en las observaciones anteriores y con el resultado de este proceso, se obtienen los valores de módulos resilientes de los materiales colocados en el proyecto, tal y como se indica en la Observación 3 de este documento.

Una vez que se cuenta con todos los datos e información necesaria se procede analizar el diseño estructural del proyecto aprobado por la Administración. En la Tabla 11, se puede observar los valores utilizados para realizar el análisis. Estos valores son los mismos que utiliza la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes en la memoria de cálculo aportada en el oficio DII 01-10-1020, recibido el 10 de mayo del 2010 todos los parámetros contenidos en la Tabla 11 con excepción del número de ejes de diseño (158.576), cuyo valor se obtuvo del análisis de los datos del conteo realizado por el equipo de auditoría técnica. En la Tabla 15 se describe la estructura de pavimento construida.

Tabla 11. Datos requeridos para el análisis por AASTHO-93

Años de diseño	12	PSI inicial	4
		PSI final	2
		Δ PSI	2
Nivel de confianza	85%	Zr	1,037
Ejes de diseño	158.576	So	0,45

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 41 de 71
-------------------------------	---	-----------------

A continuación se presenta la Tabla 12, donde se muestran los valores de número estructural “SN” requeridos según el programa de AASTHO-93 para el diseño de la estructura de pavimento utilizando los valores de los parámetros “a” del AASTHO-93 y de “m” propuesto por el CONAVI en la memoria de cálculo aportada por la Ingeniería de Proyecto en el oficio DII-10-1020 del 17 de mayo del 2010, con el propósito de lograr mayor similitud en los resultados obtenidos y poder realizar la comparación .

Tabla 12. Valores de SN del análisis por AASTHO-93

Capa	MAC	BE-25	Base Granular	Subbase	Relleno	Subrasante
Parámetro	1	2		3	4	5
a	0,5	0,13	0,13	0,15	0,15	
m		1,0**	0,8	0,8	0,7	
MR	600.030	328.011	28.000	30.619	30.619	13.136
SN1 sobre base	0,51					
SN2 sobre subbase	1,72-1,45					
SN3 sobre relleno	1,72					
SN req total	1,97					

** Nota: En la memoria de cálculo que la Administración provee se indica que el valor del parámetro “m” es de 1,1. Valor que este equipo auditor corrige por m=1, como lo recomienda la literatura y lo indica la metodología AASTHO utilizada

Para dicho requerimiento estructural se realiza un proceso de iteración con el propósito de suplir el paquete estructural con un espesor suficiente para las diferentes capas de la estructura, y que sea mayor o igual al valor del número estructural SN requerido, esto ajustando el proceso para no obtener un sobrediseño de la estructura, que pueda incurrir en un gasto innecesario para la Administración, tanto en el costo del proyecto como en los medidas necesarias para darle mantenimiento al proyecto en el futuro.

A continuación se presentan dos escenarios o posibles soluciones de paquetes estructurales que el equipo de Auditoría Técnica analizó, utilizando las características descritas anteriormente y para las condiciones de flujo del proyecto obtenidas del conteo vehicular. Es importante destacar que para estos casos se incluye el aporte de un relleno o material de préstamo, ya que, la decisión de colocar una capa de relleno en la estructura del pavimento, puede tener una explicación técnica más allá del propio diseño del pavimento, pese a que

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 42 de 71
-------------------------------	---	-----------------

esta capa, contribuye y aporta rigidez en la estructura final, su objetivo puede ser el de mejorar las propiedades del suelo existente (subrasante) o la necesidad de corregir niveles a lo largo del proyecto, por lo tanto se decide considerarla para determinar el aporte específico en cada uno de los casos analizados.

Escenario 1. Para el escenario 1, el equipo de Auditoría Técnica utiliza la misma estructura compuesta de 20 cm de BE-25, 20cm de Subbase y 20cm de material de relleno o préstamo, ya que el trazado del proyecto lo puede requerir para lograr los niveles establecidos en planos o mejorar la calidad de la subrasante.

Tabla 13. Diseño de espesores por AASTHO-93 (Escenario 1)

OPCIÓN 1		Espesor (pulgadas)	espesor (cm)	Espesor seleccionado (cm)	Espesor seleccionado (pulgadas)	SN Resultante	
MAC D1=	SN1/a1	1,02	2,59	0,00	0,00	0,00	SN1
BE-25 D2=	SN2- a1D1/a2m2	13,23	33,61	20,00	7,87	1,02	SN2
SUBBASE D3=	SN3-a1D1- a2D2m2/a3 m3	5,80	14,74	20,00	7,87	0,94	SN3
RELLENO D4=	SN4-a1D1- a2D2m2- a3m3/a4m4	0,01	0,04	20,00	7,87	0,83	SN4
						2,80	

Tal y como se puede observar en la Tabla 13, el valor del número estructural SN=2,80 que es mayor que el SN requerido de 1,97, por lo que esta opción de diseño también cumple con los requisitos de diseño y se excede en un 29,6% del valor requerido.

Escenario 2.

Otra opción analizada por el equipo de Auditoría Técnica es la sustitución de la capa de base estabilizada BE-25 por una capa de base granular de 20 cm, tal y como se puede observar en la Tabla 14, que en comparación con la alternativa anterior el espesor de propuesto sería de 25 cm; también se incluye una capa de relleno o material de préstamo de 20 cm que al igual que el escenario 1 contempla la posibilidad de que sea requerida esta capa para lograr los niveles requeridos en planos o mejorar la calidad de a subrasante.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 43 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 14 Diseño de espesores por AASTHO-93 (Escenario 2)

OPCIÓN 2		Espesor (pulg)	espesor (cm)	Espesor seleccionado (cm)	Espesor seleccionado (pulgadas)	SN Resultante	
MAC D1=	SN1/a1	1,02	2,59	0,00	0,00	0,00	SN1
BASE GRANULAR D2=	SN2- a1D1/a2m2	13,94	35,41	20,00	7,87	0,82	SN2
SUBBASE D3=	SN3-a1D1- a2D2m2/a3m3	7,51	19,07	25,00	9,84	1,18	SN3
RELLENO D4=	SN4-a1D1- a2D2m2- a3m3/a4m4	-0,29	-0,73	20,00	7,87	0,83	SN4
						2,83	

Nota: El número negativo de espesor (color rojo) en la tabla indica que esta capa no es necesaria estructuralmente

Tal y como se puede observar en la Tabla 14, el valor del número estructural SN=2,83 es mayor que el SN requerido de 1,97, por lo que esta opción de diseño también cumple con los requisitos de diseño y se excede en un 30,3% del valor requerido.

Cabe recalcar que el aporte estructural del material de relleno en este caso es importante, ya que las propiedades del material utilizado específicamente en este proyecto son similares a las requeridas para un material de subbase, como lo indica el análisis de retrocálculo de módulos realizado por el equipo de auditoría técnica.

Diseño utilizado en el proyecto: El último análisis realizado en el que se utilizaron estos parámetros de diseño, consistió en la alternativa aprobada por la ingeniería de proyecto en la Orden de Modificación N°1 (DO-D-09-0369), obteniendo un valor de número estructural (SN_{Final}) de 4,35 aproximadamente un 55% mayor al requerido. Lo anterior evidencia un aumento en los espesores colocados en el proyecto, que de acuerdo con la revisión documental realizada, no se encontró una justificación técnica ni económica para tal elección de espesores. (Ver Tabla 15).

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 44 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 15. Diseño de espesores por AASTHO-93 (Diseño de CONAVI)

CONAVI		Espesor (pulgadas)	espesor (cm)	Espesor seleccionado (cm)	Espesor seleccionado (pulgadas)	SN Resultante		Material
MAC D1=	SN1/a1	1,02	2,59	5,00	1,97	0,98	SN1	MAC
BASE D2=	SN2-a1D1/a2m2	5,15	13,07	20,00	7,87	1,13	SN2	BASE
SUBBASE D3=	SN3-a1D1-a2D2m2/a3m3	-3,25	-8,26	30,00	11,81	1,42	SN3	SUBBASE
RELLENO D4=	SN4-a1D1-a2D2m2-a3m3/a4m4	-14,83	-37,68	20,00	7,87	0,83	SN4	RELLENO
						4,35		

Nota: El número negativo de espesor (color rojo) en la tabla indica que esta capa no es necesaria

Cabe destacar que esta elección para la construcción de la estructura del pavimento además de poseer espesores mayores a los requeridos, tanto en las capas de carpeta asfáltica, base y subbase, se definió después de dada la orden de inicio y como se señaló anteriormente, aumentó el monto del contrato del proyecto. Estos aspectos desde el punto de vista de planificación y ejecución de un proyecto, muestran debilidades en la gestión, ya que debieron resolverse en la etapa previa de diseño del proyecto y antes del inicio del proceso licitatorio. Tal como se indica en la Orden de Modificación N°1 (OM1), debido a una incongruencia existente entre lo que se indicaba en los planos de la obra y el cartel de licitación del proyecto, la Dirección de Ingeniería de CONAVI, ahora Gerencia de Contratación de Vías y Puentes, atendió una solicitud de la Ingeniería de Proyecto mediante la nota DI 08-2573 de fecha 19 diciembre de 2008, suministrando dos alternativas de diseño para la construcción de la estructura del pavimento, estas son las siguientes:

Alternativa N° 1

5 cm. de carpeta asfáltica con estabilidad Marshall \geq 1100 kg
15 cm. de base estabilizada BE-25.
45 cm. de subbase granular (CBR \geq 30%).

Alternativa N° 2

5 cm. de carpeta asfáltica con estabilidad Marshall \geq 1100 kg.
15 cm. de base estabilizada BE-25.
30 cm. de subbase granular (CBR \geq 30%).
20 cm. préstamo seleccionado (CBR \geq 10%).

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 45 de 71
-------------------------------	---	-----------------



La Gerencia de Contratación de Vías y Puentes de CONAVI deja a criterio de la Ingeniería del Proyecto la elección de alguna de las alternativas o ambas, en caso de ser necesario mediante dicho oficio (DI 08-2573).

Según lo planteado en la OM1, la Ingeniería de Proyecto decide utilizar la alternativa N° 2, dejando el espesor de la base estabilizada en 20 cm tal y como se indicaba en los planos, por lo tanto la estructura final del pavimento quedó de la siguiente manera:

Alternativa final

- 5 cm. de carpeta asfáltica con estabilidad Marshall ≥ 1100 Kg.
- 20 cm. de base estabilizada BE-25
- 30 cm. de subbase granular (CBR $\geq 30\%$).
- 20 cm. de préstamo seleccionado (CBR $\geq 10\%$)

La Ingeniería de Proyecto argumenta que tomando como referencia las razones de la OM1, esta alternativa requiere de una modificación en las cantidades. Específicamente en tres de los renglones de pago más importantes del proyecto. En el renglón de pago 203(3) Excavación no clasificada se pasa de $100.900,00\text{m}^3$ a $20.680,00\text{m}^3$, representando una reducción en el monto original de $\$191.525.250,00$. Para el caso del ítem 203 (8) Excavación préstamo seleccionado para acabado caso 2, se pasa de $23.900,00\text{m}^3$ a $99.051,00\text{m}^3$, lo que implica un aumento de $\$1.314.163.008,00$ y por último en el caso del renglón 204(1) Subbase granular graduación D, obtenemos una reducción de 32.000m^3 lo que produce una reducción del monto del renglón en $\$557.568.000,00$. Para un aumento general de $\$565.069.758,00$, que representa un 9.49% de aumento en el monto del contrato.

Por lo tanto, cabe recalcar que la alternativa de diseño del pavimento aprobada por la Administración y los cambios derivados de ésta, encarecieron el costo del proyecto, al definir espesores mayores a los necesarios para soportar las cargas de diseño, que de acuerdo con la revisión documental realizada por esta Auditoría Técnica, no están respaldados por una justificación técnica y económica. Lo anterior conduce a que esta elección de alternativa de diseño del pavimento, en términos de inversión, no fuera la más eficiente como alternativa de intervención para una ruta con las características de la sección Sabalito-Las Mellizas y a la que a futuro se le deberá dar mantenimiento.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 46 de 71
-------------------------------	---	-----------------



11.1.3. Sobre el índice de condición del pavimento

Observación 5: A partir de la aplicación de la metodología para el cálculo del Índice de Condición de Pavimento (PCI) para el proyecto de mejoramiento de la sección Sabalito-Las Mellizas, se obtuvo un PCI global de 83, clasificado como muy bueno, sin embargo existen tramos puntuales que pueden comprometer el desempeño de la carretera.

A raíz de los resultados informados a la Administración en el 2010 mediante diversos oficios, en los que se comunicaba la identificación de deterioros prematuros, tanto en la base estabilizada como en la carpeta asfáltica, esta auditoría aplicó la metodología para la determinación del Índice de Condición de Pavimento (PCI), la cual es generalmente utilizada en rutas existentes que presentan deterioros necesarios de cuantificar para utilizarlos como base para identificar las necesidades de conservación o mantenimiento vial necesarias de la ruta analizada. Es por esto, que a pesar de obtener un PCI que lo clasifica como un pavimento “muy bueno” para la sección Sabalito-Las Mellizas, es importante destacar que este proyecto está recién construido (aproximadamente octubre del 2010), con una estructura de pavimento nueva, la cual no debería exhibir deterioros como los que ha presentado, principalmente en secciones particulares donde se han producido agrietamientos en la sección de pavimento.

De acuerdo con la metodología basada en la norma ASTM D6433-03 para el cálculo del Índice de Condición de Pavimento (PCI), durante la visita realizada al proyecto los días 19 y 20 de julio del 2011, el equipo de auditoría técnica realizó un levantamiento de deterioros del proyecto, en 40 unidades de medición y 6 unidades adicionales, la información completa se puede observar en el Anexo 3.

Tal como se indica existen tramos puntuales o unidades de medición especiales (UM) identificadas con condiciones de deterioro relevantes a los que el CONAVI le debe prestar atención, entre ellas se tienen las siguientes:

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 47 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 16. Levantamiento de deterioros, unidades de muestra con condiciones significativas.

No de UM	Punto de GPS	Foto	Observación
E ₂	045-046 N8 50.940 W82 52.841		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimiento de agregado (severidad baja) -Hundimiento en la línea centro (severidad alta) -Núcleos sin cerrar - Est. 13+500 aprox. PCI=34 Malo
E ₃	047 N8 51.059 W82 52.723		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimiento de agregado(severidad baja) -Dos hundimientos puntales(severidad media) -Agrietamiento en la línea centro (severidad baja) -Cielo abierto -Núcleos Est. 14+100 aprox. PCI=44 Regular
E ₄	053 N8 52.099 W82 52.073		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimiento de agregado (severidad baja) -Deslizamiento -Grietas longitudinales (severidad alta) Est. 16+893 aprox.
16	054 N8 52.175 W82 51.920		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimiento de agregado (severidad baja) - Agrietamiento (severidad alta) - Deslizamiento

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 48 de 71
-------------------------------	---	-----------------

<p>E₅</p>	<p>057 N8 52.561 W82 51.563</p>		<p>-Desprendimiento de agregado (severidad baja) -Agrietamiento (severidad alta)</p>
<p>27</p>	<p>066 N8 53.190 W82 49.611</p>		<p>-Desprendimiento de agregado (severidad baja) -Hundimiento -Agrietamiento (severidad alta)</p>
<p>37</p>	<p>077 N8 53.556 W82 47.131</p>		<p>-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío. -Zonas de acumulación de agua. Agrietamiento (severidad media)</p>

De la Tabla 16 anterior, se puede observar que para el tipo de deterioro como lo es el agrietamiento longitudinal en los bordes de la calzada, en la mayoría de los casos, presenta una severidad clasificada como alta. Este tipo de deterioro, compromete la estructura de pavimento ya que representan focos de infiltración de agua, la cual debilita las diferentes capas subyacentes a la carpeta asfáltica al contribuir al proceso de pérdida (lavado) de material granular más fino.

En las siguientes fotografías se muestra con mayor detalle condiciones observadas que, en algunos casos, contribuyen al avance de los deterioros en la estructura del pavimento, aspectos que desde la etapa de diseño deben contemplarse ya que entre otros, pueden estar relacionados con la canalización de aguas (obras de drenaje) y durante la etapa de ejecución, con la correcta conformación, construcción y control de calidad de los rellenos, de manera que se evite la falla de éstos.

<p>Informe Final LM-AT-158-11</p>	<p>Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012</p>	<p>Página 49 de 71</p>
---------------------------------------	--	------------------------



Cerca de esta sección se pueden observar huecos, deformación permanente de la carpeta y grietas.



En esta Fotografía se puede observar un deslizamiento importante.



Presencia de agrietamiento en la carpeta asfáltica, falla del terraplén de aproximadamente 65 cm.



Deslizamiento, deterioro de pavimento, mala señalización. Falla de talud, agrietamiento en carpeta, muro impermeabilizado.

Fotografías N°7 a N°10. Deterioros en la carpeta asfáltica. Fecha: 19 al 20 de julio 2011.

Como se indicó anteriormente, este tipo de condiciones si no son atendidas, se convierten en generadores e intensificadores de deterioros, además de que ponen en riesgo la inversión realizada, el desempeño y vida útil de la carretera, por lo tanto requieren de seguimiento por parte del MOPT-CONAVI.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 50 de 71
-------------------------------	---	-----------------

12. CONCLUSIONES

- **CONCLUSIÓN GENERAL:**

1. El proyecto Sabalito-Las Mellizas, a nivel de red, pese a presentar una condición estructural aceptable con base en las deflexiones obtenidas, un desempeño satisfactorio en cuanto a resistencia al agrietamiento por fatiga y un PCI aceptable, esto es consecuencia de la aplicación de un diseño de paquete estructural más robusto del que se requería para las condiciones de flujo vehicular (bajo volumen de tránsito) presentes. Cabe recalcar que pese a presentar estas condiciones favorables a nivel de red producto del paquete estructural con el que se construyó el proyecto, a nivel de proyecto se puede observar que los valores de módulo para la BE presentan valores por debajo de los esperados en 55%, producto del agrietamiento de la misma tal y como había reportado en el informe de auditoría técnica LM-PI-AT-049-10, y con base en la metodología del PCI se identificaron unidades de medición especiales o tramos puntuales con agrietamiento severo que pueden comprometer el desempeño de la carretera y la inversión realizada en este proyecto de reciente construcción. Por tanto, desde el punto de vista de eficiencia y eficacia de la inversión, la alternativa de paquete estructural aplicada por la Administración, no resultó ser la más óptima.

A partir de lo anterior se detallan las conclusiones específicas de los análisis realizados:

2. Los resultados de deflectometría medidos con el FWD indican que la estructura del pavimento de la sección Sabalito-Las Mellizas presenta una condición estructural aceptable en un 90% del tramo, según la clasificación del LanammeUCR. Sin embargo, el 10% restante se encuentra entre una categoría moderada y alta, lo cual está asociado a una condición de deterioro avanzado que no debería presentarse en una estructura de pavimento con menos de dos años de servicio.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 51 de 71
-------------------------------	---	-----------------

3. Los valores de resistencia a la compresión obtenidos por el LanammeUCR para una base estabilizada con cemento BE-25, están asociados generalmente a materiales rígidos, cuyos módulos elásticos rondan los 5.000 MPa (730.000 psi). El promedio de los módulos retrocalculados fue de 2.261,52 MPa (330.000 psi), valor que es 55% menor al valor típico (600.000 psi), lo cual significa un decremento considerable en la rigidez de la base con respecto al valor esperado. Este decremento puede estar asociado al agrietamiento producido por la excesiva contracción y la fragilidad inherente de la base estabilizada utilizada en el proyecto, lo cual significa que se entregó una base estabilizada de menor calidad a lo esperado desde el punto de vista técnico para este tipo de material. Según el análisis estructural realizado se evidencia que la estructura de pavimento colocada en el proyecto Sabalito-Las Mellizas muestra un desempeño satisfactorio en cuanto a resistencia al agrietamiento por fatiga, a excepción de los tramos 19+775 y 20+225 (tramo 14) y 21+750 y 22+200 (tramo 17). Sin embargo, los valores de módulo retrocalculados indican que la base estabilizada puede presentar agrietamientos, provocando el reflejo de las mismas a la carpeta asfáltica, lo cual disminuiría la vida remanente de la estructura.
4. La estructura del pavimento colocada en el proyecto sobre la Ruta Nacional N° 163, sección: Sabalito-Las Mellizas no es en términos de inversión, la elección más eficiente para soportar las cargas de tránsito impuestas en el periodo de diseño determinado (12 años) y por ende resulta en una estructura de pavimento más cara y una mayor inversión para la Administración, no solo en lo relacionado al costo de la obra como inversión inicial sino al mantenimiento requerido por la misma a lo largo del tiempo.
5. Utilizando la metodología de diseño AASTHO-93 se obtiene para la estructura de pavimento colocada en el proyecto un valor de número estructural, SN_{Final} de 4,35 aproximadamente un 55% mayor al requerido $SN_{Requerido}$ de 1,97. Lo que evidencia un aumento innecesario en los espesores colocados en el proyecto.
6. Las variaciones al contrato en cuanto al paquete estructural propuesto por la Administración, realizadas en la Orden de Modificación 1 produjeron un aumento general de $\$565.069.758,00$ en el monto del mismo. Esta variación representa un

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 52 de 71
-------------------------------	---	-----------------

9.49% de aumento en el monto del contrato, que de acuerdo con la revisión documental realizada por esta Auditoría Técnica, no están respaldados por una justificación técnica y económica. Lo anterior conduce a que esta elección de alternativa de diseño del pavimento, en términos de inversión, no fuera la más eficiente como alternativa de intervención para una ruta con las características de la sección Sabalito-Las Mellizas y a la que a futuro se le deberá dar mantenimiento

7. Para la sección Sabalito-Las Mellizas se obtuvo un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 83 que clasifica como “muy bueno”, sin embargo, por tratarse de un proyecto nuevo, debiera exhibir una calificación mayor. Adicionalmente se identificaron tramos puntuales que presentan deterioros significativos, tales como agrietamientos severos que pueden comprometer el desempeño de la carretera y la inversión realizada en este proyecto de reciente construcción.

13. RECOMENDACIONES

Le corresponde a la Administración definir e implementar las medidas correctivas y preventivas que procedan con el fin de subsanar las observaciones planteadas en el presente informe. A continuación se indican algunas recomendaciones.

- **A la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes del CONAVI:**
 1. Para futuros proyectos realizar un estricto seguimiento del diseño de la base estabilizada, el control de calidad de bases estabilizadas y el proceso constructivo y analizar técnicamente las consecuencias de aceptar valores de resistencia a los 7 días muy superiores al promedio establecido en la normativa, ya que esto tiene implicaciones técnicas de producir capas más rígidas que son más susceptibles al agrietamiento.
 2. Se recomienda dar seguimiento al desempeño que presenten los tramos que mostraron coeficientes de daño mayores al valor de 1, entre los kilómetros 19+775 y 20+225 (tramo 14) y entre 21+750 y 22+200 (tramo 17).
 3. Es de suma importancia dar seguimiento y proponer las medidas correctivas y preventivas correspondientes en las secciones identificadas con deterioros (ver

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 53 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tabla 16), de manera que se proteja la inversión realizada y no se comprometa el desempeño de la ruta.

• **A la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del CONAVI:**

1. Se recomienda que para futuros proyectos se fortalezca la etapa de estudios preliminares, para que de esta forma se puedan clasificar mejor los materiales y determinar con mayor exactitud las propiedades de los mismos, para que al realizar un diseño no se incurra en estimaciones de espesores mayores a los necesarios.
2. Ser rigurosos en la revisión de los diseños que se contratan a las consultoras, de manera que se dé énfasis al correcto planeamiento de las obras para canalización de agua (diseño hidráulico-hidrológico) así como de las obras de protección y contención de taludes tanto de corte como de relleno.

• **A la Dirección Ejecutiva y el Consejo Administrativo de CONAVI:**

1. Ejercer un estricto control durante el desarrollo de los procesos licitatorios, de manera que exista comunicación y coordinación necesaria con las respectivas gerencias para corroborar que los requisitos básicos de diseño (estructural, geométrico, geotécnico, hidráulico), planos, especificaciones de un proyecto se encuentren revisados y aprobados, de manera que no se resuelvan como sucedió en este proyecto, en el caso del diseño estructural del pavimento, después de dada la orden de inicio y que significó el aumento del monto del contrato.
2. En complemento al artículo 151 del Reglamento a la ley de Contratación Administrativa y al cartel de licitación, elaborar un procedimiento que indique específicamente los parámetros de aceptación final de una obra, de manera que se definan claramente conceptos como nivel aceptable de finalización y corrección de defectos menores. Esto porque en proyectos en los que se presentan deterioros prematuros durante la fase de construcción, como los observados en la mezcla asfáltica y la base estabilizada del proyecto Sabalito-Las Mellizas, existe un antecedente de alerta para la Administración, en función del desempeño que tenga el pavimento, asociado a la responsabilidad por vicios ocultos que mantiene el contratista posterior a la recepción definitiva de la obra.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 54 de 71
-------------------------------	---	-----------------

3. En vista de las observaciones realizadas en relación con las secciones identificadas con deterioros en este proyecto, mantener la observancia de lo establecido en el Artículo N°151 del Reglamento a la Ley de Contratación Administrativa (RLCA) que establece: "...La Administración solo podrá recibir definitivamente la obra, después de contar con los estudios técnicos que acrediten el cumplimiento de los términos de la contratación, sin perjuicio de las responsabilidades correspondientes a las partes en general y en particular las que se originen en vicios ocultos de la obra. Dicho estudio formará parte del expediente, lo mismo que el acta a que se refiere el presente artículo.... La recepción definitiva de la obra no exime de responsabilidad al contratista por incumplimientos o vicios ocultos de la obra"
4. Una vez recibido el proyecto, velar por la protección de la inversión realizada en el proyecto Sabalito-Las Mellizas, estableciendo las directrices correspondientes para aplicar las medidas correctivas y preventivas que requiere esta ruta en las zonas vulnerables identificadas, además de las necesidades de mantenimiento vial que requerirá a futuro.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 55 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Equipo Auditor

Ing. Raquel Arriola Guzmán.
Auditora Técnica,
LanammeUCR

Ing. Wendy Sequiera Rojas. MSc.
Auditora Técnica, LanammeUCR

Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo
Auditora Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng.
Coordinadora Auditora Técnica,
LanammeUCR

Aprobado por:

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.
Coordinador General Programa de Infraestructura de Transporte,
LanammeUCR

Visto bueno de legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado.
Asesor Legal LanammeUCR

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 56 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

ANEXO 1

Informes de Laboratorio

I-0607-10 e I-0234-11

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 57 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE



Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 58 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

ANEXO 2

Resultados de retrocálculo del proyecto Sabalito – Las Mellizas, en psi

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 59 de 71
-------------------------------	---	-----------------

Tramo homogéneo	Ubicación (km)		Carpeta asfáltica (PSI)	Base estabilizada (PSI)	Subbase granular + préstamo (PSI)	Subrasante superior (PSI)	Subrasante inferior (PSI)	RMS (%)
	Inicio del proyecto	8+000 De Hasta						
1	8+000	8+675	600.000	280.793	35.244	18.565	22.916	2,38
2	8+675	9+325	600.000	223.358	26.107	14.214	15.809	0,83
3	9+325	9+975	600.000	236.411	29.805	13.924	15.882	1,46
4	9+975	10+575	600.000	325.755	35.824	13.851	19.725	2,00
5	10+575	11+325	600.000	360.926	39.160	13.924	17.695	1,42
6	11+325	11+975	600.000	358.678	41.771	12.256	17.477	1,95
7	11+975	12+875	600.000	233.728	19.435	11.748	15.156	2,06
8	12+875	15+075	600.000	456.941	34.374	13.996	17.985	1,88
9	15+075	16+375	600.000	405.308	28.065	11.821	17.259	1,46
10	16+375	17+075	600.000	414.300	30.095	11.893	16.607	2,20
11	17+075	18+175	600.000	512.418	32.779	11.168	20.668	1,36
12	18+175	19+225	600.000	278.545	28.065	13.343	14.866	1,31
13	19+225	19+775	600.000	241.778	29.878	10.950	13.851	1,44
14	19+775	20+225	600.000	172.522	20.378	12.183	14.141	5,86
15	20+225	21+175	600.000	263.098	31.473	12.111	17.259	2,11
16	21+175	21+725	600.000	189.782	26.034	13.706	16.244	1,50
17	21+725	22+175	600.000	197.106	18.565	12.618	13.198	1,17
18	22+175	23+425	600.000	262.736	27.775	12.691	18.492	2,74
19	23+425	23+775	600.000	391.602	39.813	16.534	22.698	1,71
20	23+775	24+025	600.000	306.682	37.420	15.809	26.469	3,88
21	24+025	24+375	600.000	368.976	36.042	11.893	22.771	2,42
22	24+375	26+775	600.000	338.373	29.515	13.634	19.363	2,86
23	26+775	26+975	600.000	490.082	35.317	13.561	19.653	1,00
24	26+975	27+375	600.000	627.941	40.320	11.748	20.450	2,24
25	27+375	28+025	600.000	328.148	27.847	12.328	16.389	1,08
26	28+025	29+025	600.000	333.514	25.962	11.168	18.710	1,50
27	29+025	30+275	600.000	317.270	24.874	13.561	18.565	1,00
28	30+275	30+925	600.000	267.377	25.382	12.618	16.172	1,24
Promedio			600.000	328.005	30.618	13.136	18.088	1,93
Valor mínimo			600.000	172.522	18.565	10.950	13.198	0,83
Valor máximo			600.000	627.941	41.771	18.565	26.469	5,86
Desviación estándar			0,00	117.631	6.687	1.932	3.420	NA
Coefficiente de Variación			NA	36%	22%	15%	19%	NA

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 60 de 71
-------------------------------	---	-----------------



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

ANEXO 3

Levantamiento PCI

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 61 de 71
-------------------------------	---	-----------------

A continuación se presenta en forma tabular y enumerada las observaciones de los deterioros encontrados de forma general y datos generales del levantamiento que se elaboro en la gira realizada al proyecto Sabalito-Las Mellizas del 19 al 20 de julio del 2011 :

Tabla No A2. Levantamiento de Deterioros
(Unidades de Medición)

No de UM	Punto de GPS	Foto	Obs
1	034 N8 49.190 W82 54.513		-Desprendimiento de agregado
2	035 N8 49.312 W82 54.394		-Desprendimiento de agregado
3	036 N8 49.478 W82 54.141		-Desprendimiento de agregado
4	037 N8 49.600 W82 53.889		-Desprendimiento de agregado

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 62 de 71
-------------------------------	---	-----------------

5	038 N8 49.792 W82 53.721		-Desprendimiento de agregado. -Grietas
6	039 N8 49.950 W82 53.515		-Desprendimiento de agregado
E ₁	040 N8 50.145 W82 53.327		-Desprendimiento de agregado
7	041 N8 50.191 W82 53.154		-Desprendimiento de agregado -Núcleo tapado
8	042 N8 50.266 W82 53.109		-Desprendimiento de agregado

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 63 de 71
-------------------------------	---	-----------------

9	043 N8 50.509 W82 53.172		-Desprendimiento de agregado
10	044 N8 50.737 W82 53.024		-Desprendimiento de agregado
E ₂	045-046 N8 50.940 W82 52.841		-Desprendimiento de agregado -Hundimiento en la línea centro -Núcleos sin cerrar
E ₃	047 N8 51.059 W82 52.723		-Desprendimiento de agregado -Dos hundimientos puntales -Agrietamiento en la línea centro -Cielo abierto -Nucleos
11	048 N8 51.133 W82 52.644		-Desprendimiento de agregado -Acumulaciones de agua

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 64 de 71
-------------------------------	---	-----------------

12	049 N8 51.249 W82 52.592		-Desprendimiento de agregado
13	050 N8 51.519 W82 52.580		-Desprendimiento de agregado -Agrietamiento
14	051 N8 51.779 W82 52.495		-Desprendimiento de agregado
15	052 N8 51.984 W82 52.317		-Desprendimiento de agregado
E ₄	053 N8 52.099 W82 52.073		-Desprendimiento de agregado -Deslizamiento -Grietas

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 65 de 71
-------------------------------	---	-----------------

16	054 N8 52.175 W82 51.920		-Desprendimiento de agregado - Agrietamiento - Deslizamiento
17	055 N8 52.231 W82 51.818		-Desprendimiento de agregado
18	056 N8 52.409 W82 51.773		-Desprendimiento de agregado
19	057 N8 52.561 W82 51.563		-Desprendimiento de agregado -Arietamiento
E ₅	058 N8 52.663 W82 51.427		-Desprendimiento de agregado

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 66 de 71
-------------------------------	---	-----------------

20	059 N8 52.622 W82 51.336		-Desprendimiento de agregado
21	060 N8 52.532 W82 51.082		-Desprendimiento de agregado
22	061 N8 52.601 W82 50.812		-Desprendimiento de agregado -Acumulaciones de agua
23	062 N8 52.679 W82 50.549		-Desprendimiento de agregado -Núcleos sin sellar
24	063 N8 52.782 W82 50.294		-Desprendimiento de agregado

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 67 de 71
-------------------------------	---	-----------------

25	064 N8 52.891 W82 50.037		-Desprendimiento de agregado -Zonas de acumulación de agua -Alcantarillas obstruidas
26	065 N8 52.973 W82 49.778		-Desprendimiento de agregado
27	066 N8 53.190 W82 49.611		-Desprendimiento de agregado. -Hundimiento -Agrietamiento
E ₆	067 N8 53.228 W82 49.422		-Desprendimiento de agregado. -Deslizamiento -Agrietamiento
28	068 N8 53.130 W82 49.328		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 68 de 71
-------------------------------	---	-----------------

29	069 N8 53.075 W82 49.200		-Desprendimiento de agregado -Reparaciones con inyección de asfalto en frío.
30	070 N8 53.165 W82 48.940		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío.
31	071 N8 53.319 W82 48.715		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío.
32	072 N8 53.387 W82 48.448		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío.
33	073 N8 53.416 W82 48.169		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 69 de 71
-------------------------------	---	-----------------

34	074 N8 53.528 W82 47.918		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío.
35	075 N8 53.552 W82 47.645		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío. -Zonas de acumulación de agua
36	076 N8 53.646 W82 47.388		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío. -Zonas de acumulación de agua
37	077 N8 53.556 W82 47.131		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío. -Zonas de acumulación de agua. Agrietamiento
38	078 N8 53.424 W82 46.905		-Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío. -Zonas de acumulación de agua.

Informe Final LM-AT-158-11	Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012	Página 70 de 71
-------------------------------	---	-----------------

<p>39</p>	<p>079 N8 53.222 W82 46.719</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimiento de agregado. -Reparaciones con inyección de asfalto en frío. -Zonas de acumulación de agua.
<p>40</p>	<p>080 N8 53.288 W82 46.452</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimiento de agregado



<p>Informe Final LM-AT-158-11</p>	<p>Fecha de emisión: 17 de Febrero de 2012</p>	<p>Página 71 de 71</p>
---------------------------------------	--	------------------------