



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-114-12

EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LAS ACTIVIDADES DE COLOCACIÓN DE CONCRETO Y TOBA PLÁSTICA.

***PROYECTO: Rehabilitación de la estructura del pavimento de la Ruta
Nacional No.2, Sustitución de losas de concreto de Ochomogo carril
interno sentido San José – Cartago.***

***“Licitación Pública N° 2009LN-00003-0CV00, Conservación Vial de
la Red Vial Nacional Pavimentada”, zona 1-7 Cartago, Línea 16.***

INFORME FINAL

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica

Febrero, 2013



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Información técnica del documento

1. Informe Final Informe LM-PI-AT-114-12.	2. Copia No. 12	
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LAS ACTIVIDADES DE COLOCACIÓN DE CONCRETO Y TOBA PLÁSTICA.	4. Fecha del Informe Febrero, 2013	
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 Sobre los materiales: El agregado mineral utilizado como material de subbase cumple los requisitos establecidos en los documentos contractuales, en cuanto a plasticidad, índice de soporte y granulometría. Por su parte las muestras de Toba Cemento Plástica no cumplen los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en las especificaciones del CR-77 para este tipo de material. Por su parte el concreto colocado en la superficie de ruedo cumplió con los requisitos de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión indicados en el cartel de licitación. Sobre el proceso constructivo: Durante la etapa constructiva se observó el deterioro del borde de la capa superficial en algunas de las losas coladas en el carril externo, a las cuales se les realizó una intervención de reparación de bacheo a profundidad parcial mediante el relleno con un aditivo epóxico. Sin embargo se logró evidenciar que las reparaciones realizadas no abarcaban toda la zona deteriorada, tanto en la zona superficial como la zona lateral de la losa, en donde se produjeron los desprendimientos de concreto. Además se evidenciaron unas grietas que atraviesan el ancho de la losa en al menos tres sitios a lo largo de la intervención que se realizó en el carril externo, al igual que un alto nivel de agrietamiento y desprendimiento de material entre la unión de la losa de concreto con el espaldón y el sistema de cunetas.		
10. Palabras clave Evaluación de materiales, concreto, toba plástica	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 38



INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LAS ACTIVIDADES DE COLOCACIÓN DE CONCRETO Y TOBA PLÁSTICA

Departamento encargado del proyecto: Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, CONAVI
Ingeniero de Conavi Zona 1-7 Cartago, Línea 16: Pablo Camacho Salazar (Ingeniero de CONAVI)
Laboratorio de verificación de calidad: Castro & De la Torre, Laboratorio de Materiales para la Construcción

Empresa contratista: Constructora Grupo Orosí
Laboratorio de control de calidad: Vieto y Asociados

Monto original del contrato: ₡5.982.104.437,00 (colones)
Plazo original de ejecución: 1095 días naturales

Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:
Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

Coordinadora de Auditoría Técnica:
Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

Auditores:
Ing. Víctor Cervantes Calvo, auditor líder.
Ing. Mauricio Salas Chaves, auditor adjunto.

Asesor Legal:
Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:
El alcance de esta auditoría técnica se centró en la evaluación de las actividades constructivas y de los materiales utilizados para la colocación de losas de dimensiones pequeñas en la carretera a Cartago.

Ubicación del proyecto auditado:



Figura 1. Ubicación del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	4
LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	5
1. FUNDAMENTACIÓN.....	6
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	6
2.1. Objetivo del informe	6
2.2. Alcance del informe	7
3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR.....	7
4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	7
4.1. Antecedentes del proyecto	9
5. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	11
5.1. Hallazgos de la Auditoría	11
5.1.1. Sobre la calidad de los materiales constructivos.....	11
5.2. Observaciones de la Auditoría.....	27
5.2.1. Sobre el proceso constructivo	27
6. CONCLUSIONES.....	36

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE TOBA CEMENTO, CONCRETO HIDRÁULICO Y AGREGADOS DE SUBBASE.	9
TABLA 2. GRADUACIÓN A PARA MATERIAL DE SUBBASE, CR-77.	12
TABLA 3. REQUISITOS DE MATERIAL DE SUBBASE, CR-77.....	12
TABLA 4. LÍMITES DE ATTERBERG	13
TABLA 5. RESULTADOS DE CBR.....	14
TABLA 6. GRANULOMETRÍA DE SUBBASE SECCIÓN M-204(1)	15
TABLA 7. DISEÑO DE MEZCLA, GRUPO OROSÍ.	16
TABLA 8.FÓRMULA DISEÑO DE MEZCLA PARA 1M ³ , GRUPO OROSÍ.....	17
TABLA 9.REPRODUCCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA, EN LABORATORIO LANAMMEUCR.	18
TABLA 10. VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE TOBA CEMENTO	19
TABLA 11. RESISTENCIA PARA BE-25 Y TOBA CEMENTO.....	24
TABLA 12. VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 28 DÍAS	26
TABLA 13. VALORES DE INFERENCIA ESTADÍSTICA PARA RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ...	26
TABLA 14. VALORES DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO A LOS 28 DÍAS	26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL PROYECTO.	3
FIGURA 2. GRÁFICA DEL ENSAYO DE CBR.....	14
FIGURA 3. GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL DE SUB BASE.....	15
FIGURA 4. GRÁFICA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA DEL MATERIAL DE BASE ESTABILIZADA CONSIDERADA COMO TOBA CEMENTO.	20
FIGURA 5. UBICACIÓN DE GRIETAS EN EL PROYECTO.	31

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. MATERIAL DE SUBBASE APILADO CERCA DE LA ESTACIÓN DE PESAJE DE OCHOMOGO	13
FOTOGRAFÍA 2. PROCESO DE COLOCACIÓN DEL MATERIAL DE TOBA CEMENTO PLÁSTICA.	19
FOTOGRAFÍA 3. PROCESO DE COLOCACIÓN DE LA LOSA DE CEMENTO HIDRÁULICO.	25
FOTOGRAFÍA 4. DETERIORO DE LOS BORDES DE LA LOSA DE CEMENTO HIDRÁULICO.	28
FOTOGRAFÍA 5. PROCESO REPARACIÓN DEL DETERIORO DE LA LOSA DE CEMENTO HIDRÁULICO.	29
FOTOGRAFÍA 6. PROCESO REPARACIÓN DEL DETERIORO DE LA LOSA DE CEMENTO HIDRÁULICO.	30
FOTOGRAFÍA 7. PROCESO DE COLOCACIÓN DE LA LOSA DE CEMENTO HIDRÁULICO.	33
FOTOGRAFÍA 8. PRESENCIA DE GRIETAS EN LAS LOSAS DE CONCRETO.....	34
FOTOGRAFÍA 9. DETERIORO DEL ESPALDÓN DE CONCRETO.....	35

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 5 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	----------------



INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA. EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LAS ACTIVIDADES DE COLOCACIÓN DE CONCRETO Y TOBA PLÁSTICA

1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones 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 del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de auditoría técnica se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

“...la fiscalización que realiza la Universidad 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 riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.”

2. OBJETIVO 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 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.

2.1. OBJETIVO DEL INFORME

El objetivo de este informe es valorar la calidad de los materiales incorporados en las actividades de rehabilitación de la Ruta Nacional N°2, así como evaluar algunas de las actividades de colocación y condiciones constructivas de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 6 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	----------------

2.2. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que realiza esta auditoría consiste en la evaluación de la calidad de los materiales que conforman la estructura del carril interno del pavimento a rehabilitar a saber: base constituida por un material de toba cemento plástica, capa de ruedo compuesta de concreto hidráulico, así como los agregados que conforman la sub base. Además, se evalúan visualmente las condiciones constructivas, de ambos carriles resultantes de los trabajos ejecutados durante los trabajos de rehabilitación.

3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng. (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas)
- Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Mauricio Salas Chaves (Auditor Técnico)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

4. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME LM-PI-AT-114B-12, ENTREGADO EN VERSIÓN PRELIMINAR.

Como parte de los procedimientos de Auditoría Técnica y en lo referente a la remisión del informe en su versión preliminar LM-PI-AT-114B-12, el día 17 de octubre de 2012 se envió el oficio LM-AT-140-2012 por medio del cual se hace entrega de dicho informe, solicitando para el día 24 de octubre de 2012 una audiencia a la parte auditada, para la presentación de dicho informe en versión preliminar.

Los convocados a esta audiencia eran por parte del área auditada: el Ing. Cristian Vargas Calvo, Gerente de Conservación de Vías y Puentes, Ing. Pablo Camacho Salazar, Ingeniero Conavi Zona 1-7, Cartago, además se invitó al Lic. Reynaldo Vargas Soto, Auditor a.i y la Ing. Dahianna Izaguirre, por parte del CONAVI. Del LanammeUCR y como parte del equipo auditor encargado del desarrollo del informe, a saber, Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica, Ing. Víctor Cervantes Calvo e Ing. Mauricio Salas Chavez.

Posteriormente el 29 de octubre de 2012 la Administración solicitó mediante el oficio GCSV-01-12-4162 una ampliación de 30 días de plazo para la entrega de observaciones y aclaraciones requeridas a dicho informe. En vista que en el oficio de remisión se había otorgado un plazo inicial de 10 días hábiles esta auditoría procedió a enviar el oficio LM-AT-143-2012 en donde se indicaba que se concedía un plazo adicional de 10 días hábiles para la recepción de dichos comentarios.

El día 23 de noviembre de 2012 se recibe el oficio DR(Central)-46-12-1673, dirigido a la ingeniera Jenny Chaverri, en donde la Administración expone una serie de aclaraciones y

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 7 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	----------------

observaciones relacionadas con el informe de auditoría supra citado, referente a los argumentos que se incluyen en el oficio de la Administración y considerando que remiten objeciones a los resultados de laboratorio y para efectos de confirmar los hallazgos, esta auditoría consideró importante solicitarle a la Administración la remisión de la información relacionada con la resistencia a la compresión de la base estabilizada (diseños, control de calidad y verificación de calidad) debidamente certificada a través del oficio LM-AT-158-12 del 12 de diciembre de 2012.

Debido a que en el plazo inicial establecido de 10 días no se recibió la información requerida, el día 16 de enero de 2013 se envía el oficio LM-AT-02-2013 donde se le otorgó un nuevo plazo de 8 días, para la remisión de dicha información. Asimismo ante esta petición, la Auditoría Técnica recibe el oficio de Acuerdo del Consejo de Administración ACA 01-13-0071 del 25 de enero de 2013 suscrito por la Licenciada Magally Mora Solís en el cual le recuerdan a los ingenieros encargados del proyecto atender la solicitud de información solicitada por esta auditoría.

Vencidos los plazos y en apego a los procedimientos de auditoría técnica se analizaron de manera detallada y con estricto apego a los criterios técnicos todos aquellos aspectos profesionales, técnicos y legales contenidos en el referido oficio, ello en el marco de la objetividad, independencia y transparencia que rigen el ejercicio de la auditoría técnica y atendidos en caso de incidir en el informe.

5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

La fiscalización que realiza la Auditoría Técnica del LanammeUCR es un proceso independiente, basado en normas y procedimientos establecidos, aplicando criterios objetivos en procura de lograr el cumplimiento del alcance y los objetivos definidos para cada uno de los estudios desarrollados. Este proceso no limita a que algunas actividades puedan realizarse en conjunto con el auditado.

La Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR visitó el proyecto durante su etapa de ejecución durante el mes de marzo de 2012, periodo en el cual se procedió a tomar muestras de los diferentes materiales que se utilizaron para la rehabilitación de la superficie de ruedo del proyecto mencionado.

Para ello, el personal de auditoría técnica, acompañado con personal técnico del Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR se apersonó al sitio de colocación de la toba plástica como capa de base durante los días 14, 19, 21, 22, 26 y 28 de marzo de 2012 para testificar las labores realizadas y la colocación de acuerdo con los requerimientos establecidos en el diseño estructural.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 8 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	----------------

Para el proceso de colocación mencionado se tomaron muestras de cilindros del material de toba cemento plástica los días 21 y 22 de marzo de 2012. Además los días 26 y 28 de marzo de 2012 personal técnico del LanammeUCR tomó muestras del concreto fresco que se colaba en la losa. Finalmente, el material del agregado que compone la subbase se muestreó el día 23 de marzo de 2012, del material apilado contiguo a la estación de pesaje móvil.

En la Tabla 1 se presenta, cronológicamente, el detalle de las muestras tomadas y se especifica el lugar correspondiente al punto donde se tomó la muestra.

Tabla 1. Detalle de los muestreos de toba cemento, concreto hidráulico y agregados de subbase.

	Muestra	Fecha	Material	Estacionamiento
1	0685-12	23/03/12	Sub base	Cerca caseta de pesaje
2	0707-12	26/03/12	Toba Cemento Plástica	18+627 a 18+588
3	0708-12	26/03/12	Toba Cemento Plástica	18+588 a 18+570
4	0709-12	26/03/12	Toba Cemento Plástica	Ochomogo, Tres Ríos
5	0728-12	10/04/12	Concreto	16+568
6	0726-12	27/03/12	Concreto	18+549.3
7	0727-12	27/03/12	Concreto	18+512.5

Con los resultados obtenidos de los muestreos se procedió a analizar la calidad de los materiales colocados, así como evaluar su cumplimiento según las especificaciones contractuales. Adicionalmente, se realizó un levantamiento visual de las situaciones observadas durante el proceso constructivo y las condiciones definitivas de las losas de concreto.

5.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La rehabilitación de la superficie de ruedo existente en la ruta Nacional N°2, contempla la sustitución de las losas de concreto localizadas cerca de la sección de control 30700 en Ochomogo, Cartago.

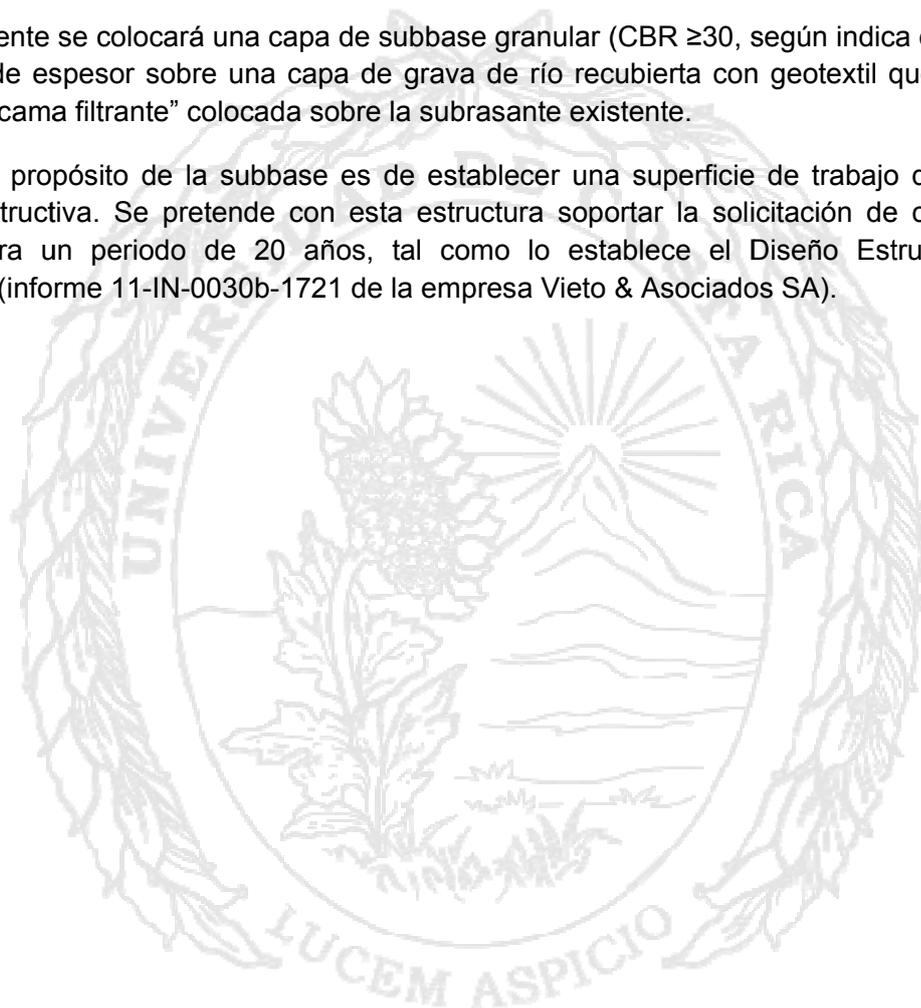
La estructura propuesta para el reemplazo, según el diseño estructural de pavimento efectuado por el Ing. Ezequiel Vieto Solís en documento de fecha setiembre 24, 2011, con identificación número 11-IN-0030b-1721, consiste en un pavimento de losas de dimensiones pequeñas, de aproximadamente 180 cm x 180 cm (± 15 cm) de dimensión, con un espesor de losa de concreto de 22 cm. La especificación de resistencia a la compresión del concreto se establece en un valor de $f'c=425$ kg/cm² y un valor mínimo de módulo de ruptura a la flexión de 4,8 MPa.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 9 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	----------------

Además, el diseño inicial considera colocar las losas sobre una base estabilizada tipo BE-25 de 20 cm de espesor, que según decisiones técnicas posteriores informadas el 20 de enero de 2012 en oficio 12-IN-0002-1721¹ emitido por Ing. Ezequiel Vieto Solís, dicha capa de base estaría constituida por un material de toba cemento plástica (con una resistencia a la compresión de 3,0 MPa a 7 días según diseño). Sin embargo la documentación contractual establece en las secciones 703.07B del CR-77 que la resistencia que debe tener una base conformada por una toba cemento plástica, tipifica una resistencia mínima de 35 kg/cm² (3.5 MPa)

Adicionalmente se colocará una capa de subbase granular (CBR ≥ 30 , según indica el diseño) de 20 cm de espesor sobre una capa de grava de río recubierta con geotextil que actuará como una “cama filtrante” colocada sobre la subrasante existente.

El principal propósito de la subbase es de establecer una superficie de trabajo durante la etapa constructiva. Se pretende con esta estructura soportar la sollicitación de cargas de tránsito para un periodo de 20 años, tal como lo establece el Diseño Estructural de Pavimento (informe 11-IN-0030b-1721 de la empresa Vieto & Asociados SA).



¹ Esquema del diseño de la estructura final del pavimento de losas con dimensiones pequeñas. Ruta 2 Ochomogo.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 10 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

6. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo auditor en este informe de auditoría se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las muestras extraídas y la recolección y análisis de 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.

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 prevengan el riesgo potencial de incumplimiento.

6.1. HALLAZGOS DE LA AUDITORÍA

6.1.1. Sobre la calidad de los materiales constructivos

Los materiales que se emplean durante un proceso constructivo deben de reunir las características que se establecen en la documentación contractual para cada tipo de material o combinación, es por ello que se toman muestras de los materiales que componen cada una de las capas del paquete estructural de la vía, siendo éstas definidas en el diseño como: sub base, base y losa de concreto hidráulico. A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada uno de los materiales analizados.

A. Material de Sub base

De acuerdo con los documentos contractuales el principal propósito de la subbase es la de establecer una superficie de trabajo durante la etapa constructiva.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 11 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

HALLAZGO N° 1: Los materiales de subbase muestreados por el LanammeUCR cumplen con los requisitos establecidos en el CR-77.

La documentación contractual en el cartel de licitación en el apartado “M-204 (1): Suministro, colocación y compactación de sub-base de agregado triturado” establece que el material que se utiliza como material de sub base debe cumplir la granulometría indicada en dicha sección la cual se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Graduación A para material de subbase, CR-77.

Malla	Abertura (mm)	% pasando Graduación Cartel Licitación ²
2 ½ “	63,0	100
2 “	50,0	97-100
1”	25,4	65-79
½ “	12,5	45-59
N°4	4,75	28-42
N°50	0,300	9-17
N°200	0,075	4-8

De la misma manera el cartel de licitación indica que se mantienen los requisitos establecidos en la sección 204(1) “Sub base” del CR-77 en donde se especifican las características físicas que deben tener los materiales granulares que queden protegidos, dichas condiciones se enlistan en la Tabla 3.

Tabla 3. Requisitos de material de subbase, CR-77.

Requisito	Valor
Libre de sustancia vegetales, grumos o terrones de arcilla	-
Material pasando malla N°40	IP≤7
Material pasando malla N°40	LL≤30
Índice de soporte CBR (al 95% próctor modificado)	CBR>30

² El control y la verificación de calidad se realizaron comprobando el cumplimiento de la graduación A, indicada en el CR-77.



Fotografía 1. Material de subbase apilado cerca de la estación de pesaje de Ochomogo

Al analizar los resultados de ensayo obtenidos por el LanammeUCR en la muestra de material de sub base tomada el día 23 de marzo de 2012, en cuanto a los resultados de límites de Atterberg (que se presentan en la Tabla 4), se determina que la muestra del material de grava cumple los requisitos establecidos en cuanto a plasticidad y límite líquido solicitados en el CR-77.

Tabla 4. Límites de Atterberg

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plasticidad
Valores obtenidos	NP	NP	NP
Especificación CR-77	≤30	-	≤7

En cuanto a los resultados del ensayo de índice de soporte (CBR) se establece de la Figura 2 “Ensayo CBR” que para el 95% de compactación del próctor modificado, se obtienen resultados mayores que la condición estipulada en el CR-77, tal como se detalla en la Tabla 5.

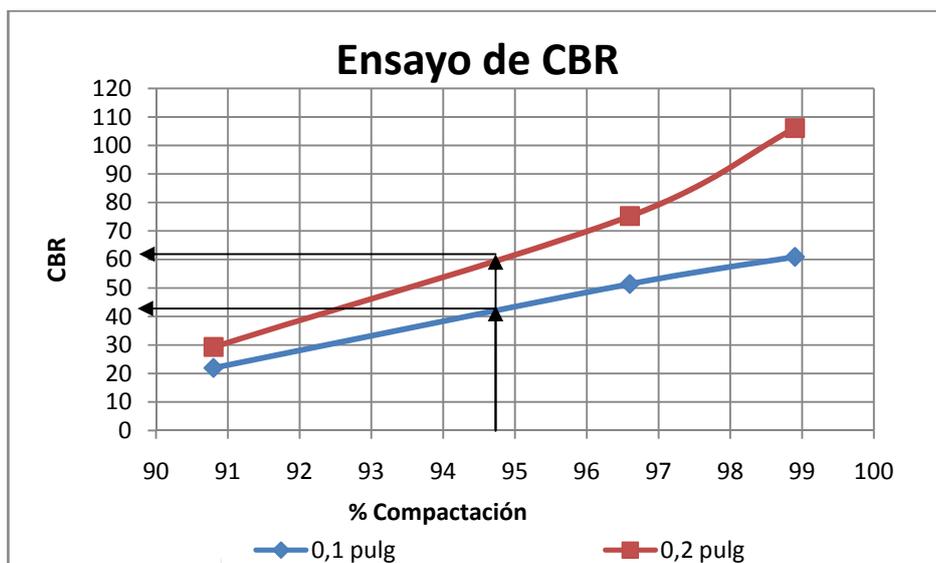


Figura 2. Gráfica del Ensayo de CBR

Tabla 5. Resultados de CBR

Compactación %	CBR corregido		Especificación
	0,1 pulg	0,2 pulg	CR-77
98,9	60,9	106,1	-
96,6	51,4	75,2	-
95,0 (*)	43,3	65,2	CBR≥30
90,8	22	29,3	-

(*) Resultados obtenidos de la Figura 2. Gráfica del Ensayo de CBR

En cuanto a la composición granulométrica indicada en la sección M-204(1) del cartel de licitación los resultados de laboratorio (Tabla 6 y Figura 3) revelan que el material de grava de río utilizado cumple con los requerimientos establecidos en dicha sección M-204(1), mostrando una cercanía con el límite inferior de la especificación en la malla N°200, tal como se aprecia en la Figura 3).

Tabla 6. Granulometría de Subbase sección M-204(1)

Malla	Abertura (mm)	%Pasando	% pasando Graduación Cartel Licitación ³
2 ½ "	63,0	100	100
2 "	50,0	100	97-100
1 "	25,4	72	65-79
½ "	12,5	55	45-59
N°4	4,75	38	28-42
N°50	0,300	12	9-17
N°200	0,075	7,4	4-8
Charola	-	-	-

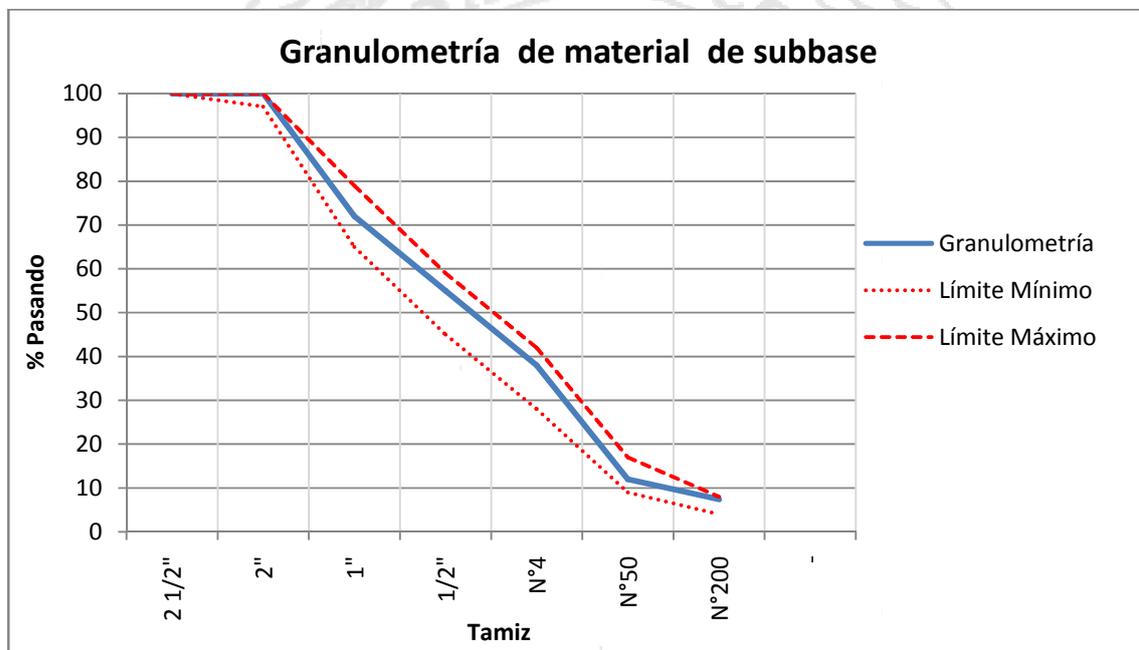


Figura 3. Gráfica de composición granulométrica del material de sub base

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Sección M-204(1) de las Especificaciones Especiales "Suministro, Colocación y Compactación de Sub base de agregado triturado" del cartel de Licitación para los Proyectos de Conservación Vial Red Vial Nacional Pavimentada Licitación Pública N° 2009LN-000003-CV y CR-77.

³ El control y la verificación de calidad se realizaron comprobando el cumplimiento de la graduación A, indicada en el CR-77.

B. Material de Base - Toba Cemento

El diseño de la estructura de pavimento⁴ para la carretera de Cartago, presentado por el contratista, planteaba en su propuesta inicial la colocación de una base estabilizada de 20 cm de espesor con una resistencia correspondiente a una BE-25 (Resistencia promedio de 30 kg/cm², según CR-77), considerando el mejoramiento de la base granular existente. Luego en un planteamiento posterior⁵ de la estructura propuesta, se establece que la capa correspondiente a la base estabilizada, va a estar conformada por una Toba Cemento Plástica, indicando en el documento de diseño que tendrá una resistencia a la compresión de 3,0 MPa a los 7 días (en el documento se indica “resistencia a la compresión similar a la de una BE-25”).

HALLAZGO N° 2: El diseño, la reproducción del diseño y los materiales muestreados de la toba-cemento reflejan una resistencia a la compresión menor que la establecida en la sección 703.07B “Requisitos de resistencia de la mezcla de Toba Cemento Plástica”.

Diseño de toba cemento plástica

Al analizar el diseño de toba cemento propuesto por el contratista “Grupo Orosí” en su documento “Toba plástica similar BE25 con agregado” preparada por su laboratorio de calidad, se determina de los volúmenes de cemento y agua reportados (los que se observan en la Tabla 7), que la relación existente entre agua/cemento para la mezcla propuesta es de 1,11.

Tabla 7. Diseño de mezcla, Grupo Orosí.

Tipo de agregado/material	Ws (kg)	Volumen (m ³)
Arena Indio	308	0,220
Cuarta Ujarras	200	0,143
38 mm	150	0,110
Polvo Piedra	1300	0,930
Cemento	200	0,2 ton
Aditivo	1,6	1,6
Agua	222	0,222
Total de agregados	1951	

Sin embargo de la fórmula diseño de mezcla vigente para el día 23 de marzo de 2012, para las cantidades de cemento y agua utilizados para la producción (tal como se observa en la Tabla 8) se determina que la relación existente entre agua/cemento para la mezcla producida es de 1,48.

⁴ Diseño estructural de pavimento efectuado por el Ing. Ezequiel Vieto Solís (oficio 11-IN-0030b-1721).

⁵ Oficio 12-IN-0002-1721 del 20 de enero de 2012, emitido por Ing. Ezequiel Vieto Solís.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 16 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

Las relaciones de agua/cemento anteriormente determinadas se pueden considerar altas para un concreto con resistencia convencional ($f'c$ entre 18 a 45 MPa -183,5 a 460kg/cm²-) ya que normalmente este tipo de concreto requiere relaciones cercanas a 0,45 a 0,50, sin embargo para el caso de un concreto pobre o una toba cemento plástica con resistencia de 3,0 MPa (30 kg/cm²) a los 7 días, los valores obtenidos (1,11 y 1,48) se consideran usuales.

Tabla 8. Fórmula⁶ diseño de mezcla para 1m³, Grupo Orosí.

Tipo de agregado	Ws (kg)
Cemento (Fortacem - CEMEX)	150
Polvo Piedra	1200
Cuarta	200,2
Tercera	250
Arena	351,8
Aditivo Ergomix 175	1,5 lts
Agua	221,97 lts (*)

(*) se asume densidad del agua: 1 kg/lts

Al examinar las proporciones de los materiales por peso de mezcla de la toba cemento plástica (Tabla 7 y Tabla 8), se determina que la relación existente cemento/agregado fino/agregado grueso es de 1:8:1,75 (9% cemento, 74% finos, 16% gruesos) para el diseño de mezcla y de 1:10:3 (7% cemento, 71% finos, 21% gruesos) para la fórmula de diseño de mezcla. De esta información se puede concluir que estas mezclas elaboradas tienen⁷ un alto contenido de agregados y un bajo contenido de cemento, concordando nuevamente con las características esperadas para una mezcla de toba cemento.

Por tanto según la información mostrada en el Diseño de Mezcla y en la Fórmula de Trabajo de Diseño analizadas, no es posible obtener resistencias a la compresión similares a las de un concreto convencional, ni de un concreto de alta resistencia, pues tanto la relación agua/cemento, así como la relación por peso de materiales cemento:arena:piedra no son apropiadas para conseguirlo.

Reproducción de Diseño

Como parte del proceso de auditoría, el día 23 de marzo de 2012 se visitaron las instalaciones de la planta de producción del Grupo Orosí ubicadas en la Lima de Cartago en donde se tomaron muestras de los materiales con los que se fabricaba la toba cemento plástica enviada al proyecto en estudio, con la finalidad de reproducir el diseño de mezcla en el laboratorio del LanammeUCR.

Dicha reproducción del Diseño de Mezcla de Toba Cemento Plástica, se encuentra en el informe de ensayo I-0513-12, y se basa en el diseño de toba cemento propuesto por el contratista "Grupo Orosí" en su documento "Toba plástica similar BE25 con agregado" preparada por el laboratorio de calidad. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9.

⁶ Fórmula de trabajo vigente para el 23 de marzo de 2012, planta de producción del Grupo Orosí ubicada en la Lima de Cartago.

⁷ Un concreto convencional mantiene una relación cemento/agregado fino/agregado grueso de 1:2:3.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 17 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

Tabla 9. Reproducción de Diseño de mezcla, en laboratorio LanammeUCR.

Número de muestra	1081-12	1081-12	1081-12	1081-12
Espécimen	1	2	3	4
Fecha moldeo	08/05/2012	08/05/2012	08/05/2012	08/05/2012
Revenimiento (mm)	95	95	95	95
Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm ²)	22,3	22,2	-	-
Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)	-	-	33,1	35,3
Resistencia Promedio (kg/cm ²)	22,2		34,2	
Desviación estándar (kg/cm ²)	0,01		1,60	

De la reproducción del diseño en el laboratorio del LanammeUCR se determina que la resistencia a la compresión esperada a los 7 días es de 22,2 kg/cm² con un valor de revenimiento de 95 mm.

Muestreo de Toba Estabilizada

Asimismo durante las diferentes fases del proceso constructivo del proyecto de rehabilitación, el equipo de auditoría técnica se apersonó durante los días 14, 19, 21, 22 y 26 de marzo de 2012 para evidenciar las labores de colocación de la toba plástica empleada como capa de base, con el propósito de determinar que los trabajos se ejecutaran de acuerdo con los requerimientos establecidos en el diseño estructural y con lo requerido por la documentación contractual. En la Fotografía 2, se presenta un detalle del proceso constructivo llevado a cabo, en donde en la fotografía a. se aprecia la colocación de la toba cemento mediante camión batidora de cemento. En la fotografía b. y d. se muestra la superficie final de colocación para las fechas 19 y 26 de marzo de 2012. En tanto en la fotografía c. se presenta un detalle del espesor de colocación de la toba cemento de aproximadamente 20 cm.





Fotografía 2. Proceso de colocación del material de toba cemento plástica.

Durante el proceso de colocación de la toba con cemento (como capa de base) durante los días 21 y 22 de marzo de 2012, se tomaron un total de 9 cilindros de material de toba plástica por parte del laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR, el detalle de las muestras, estacionamientos y resultados se resumen en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores de Resistencia a la compresión de cilindros de Toba Cemento

Número de muestra	707-12			708-12			709-12			
Fecha muestreo	21/03/2012			21/03/2012			22/03/2012			
Estacionamiento	18+627 a 18+588			18+588 a 18+570			Ochomogo, Tres Ríos			
Revenimiento (cm)	9			7			15			
Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm ²)	30,0	29,4	32,1	22,8	22,2	20,9	21,7	21,5	24,4	20,4
Resistencia Promedio (kg/cm ²)	30,5			22,0			22,0			
Desviación estándar (kg/cm ²)	1,4			1,0			1,7			

Según el documento “Diseño de pavimento con losas de dimensiones pequeñas” aportado a esta auditoría, el material de la capa de base estará conformado⁸ por una Toba Cemento Plástica, las especificaciones establecidas en la sección 703.07B “Requisitos de resistencia de la mezcla de Toba Cemento Plástica” del CR-77 indican claramente que “la toba plástica para bases debe alcanzar una resistencia mínima de ruptura en compresión de 35 kg/cm² y un revenimiento de 1 a 3 cm”.

Por consiguiente del análisis de los resultados de resistencia a la compresión de la toba cemento (Tabla 10) obtenidos por el LanammeUCR según informe de ensayo I-0300-12, se puede determinar que la totalidad de las muestras analizadas se encuentran por debajo del valor requerido por la especificación con un valor promedio de 30,5 kg/cm² para el material muestreado el 21 de marzo de 2012. Los restantes especímenes muestran un valor de resistencia promedio de 22,0 kg/cm² para los días 21 y 22 de marzo de 2012, mostrando un

⁸ Oficio 12-IN-0002-1721 del 20 de enero de 2012, emitido por Ing. Ezequiel Vieto Solís.

desfase de una magnitud aproximada de 10 kg/cm^2 con relación al valor especificado en el CR-77, tal como se muestra en la Figura 4.

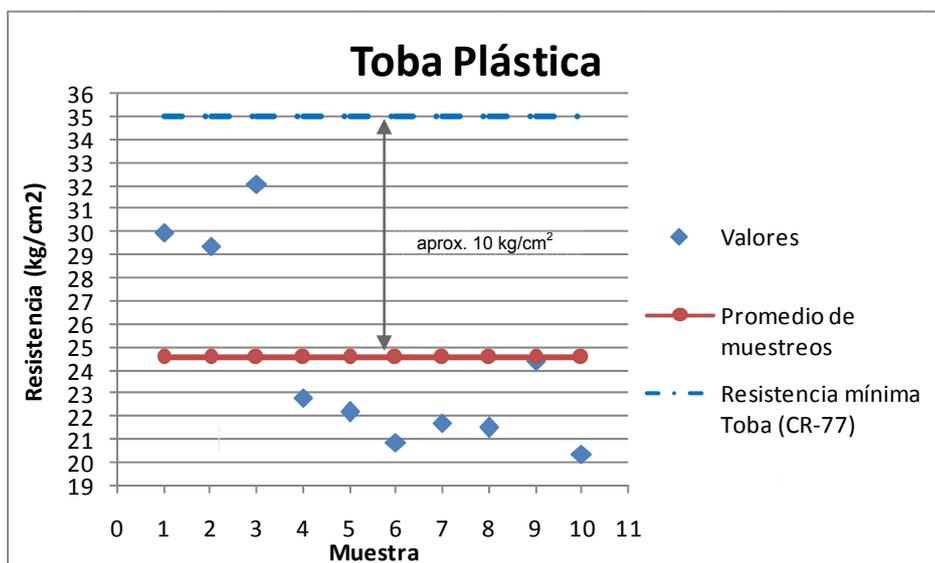


Figura 4. Gráfica de resultados de resistencia del material de base estabilizada considerada como toba cemento.

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: sección 703.07B "Requisitos de resistencia de la mezcla de Toba Cemento Plástica" del CR-77 según documentos de prevalencia del cartel de Licitación para los Proyectos de Conservación Vial Red Vial Nacional Pavimentada Licitación Pública N° 2009LN-000003-CV.

En oficio el DR (Central)-46-12-1673 enviado el 21 de noviembre de 2012 por la ingeniería de proyecto, como parte del descargo al presente informe LM-PI-AT-114B-12, en versión preliminar, se incluyen aclaraciones y observaciones relacionadas con la resistencia de la toba cemento analizada.

En este oficio la ingeniería del proyecto destaca que *"de acuerdo con los resultados del laboratorio de verificación Castro y de la Torre, contenidos en el informe N°2012-04-3072 de fecha 24 de abril de 2012 (ver anexo 1 adjunto), la resistencia del tobacemento tiene una resistencia promedio de 19MPa (200 kg/cm²), por tanto se cumple con la resistencia mínima solicitada en el diseño, razón por la cual se da la aprobación de los trabajos realizados. Es importante mencionar, que el aumento de la resistencia solicitada a los 7 días se debe a que se requería que la toba cemento plástica obtuviera la resistencia de diseño a 1 día, a fin de poder realizar la colada del concreto de la losas el día siguiente".*

El análisis de los documentos donde se presenta el diseño de mezcla de toba cemento y el de la formula de diseño de mezcla examinado, así como la reproducción del diseño en el laboratorio de LanammeUCR y los resultados de las muestras tomadas in situ evidencian una consistencia entre todos estos elementos examinados reflejando una resistencia de 22

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 20 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

kg/cm², tanto en el diseño reproducido así como en las muestras de sitio ensayadas. Por su parte la información contenida en el Diseño de Mezcla y en la Fórmula de Trabajo de Diseño analizadas, evidencian que la relación agua/ cemento, así como la relación por peso de materiales cemento:arena:pedra son las comúnmente utilizadas para materiales de Toba cemento o cemento pobre.

Es criterio de esta auditoría⁹ que para lograr que una mezcla de concreto desarrolle resistencias de 19 MPa (200 kg/cm²) a los 7 días, tal como lo menciona el oficio de la ingeniería de proyecto, se debió diseñar como si se tratara de un concreto convencional con un f'c de 27,9Mpa (285kg/cm²), con relaciones agua/cemento esperadas en un rango entre 0,45 a 0,50. Adicionalmente hay que considerar que en los concretos convencionales la relación por peso de materiales cemento:arena:pedra es usualmente de 1:1,5:2,5 (20%:30%:50%) significando que la cantidad de cemento por agregado es significativamente mayor en el diseño.

Por otro lado, si se tratara de diseñar un concreto para que desarrolle una resistencia de 19 MPa (200 kg/cm²) a un día, tal como se indica en el oficio DR (Central)-46-12-1673 “el aumento de la resistencia solicitada a los 7 días se debe a que se requería que la toba cemento plástica obtuviera la resistencia de diseño a 1 día, a fin de poder realizar la colada del concreto de las losas el día siguiente”, se debieron tomar en cuenta todos los aspectos relacionados para el diseño de un concreto de alta resistencia o alto desempeño con un f'c de 95,1 MPa (970 kg/cm²), con consideraciones de relación agua cemento cercanas a 0,40 o menores, además establecer los criterios de calidad de los agregados mucho más rigurosos, con tamaño máximo de 95 mm (según lo establece la técnica de fabricación de este tipo de concreto) y un uso de aditivos reductores de agua y superplastificantes.

Para lograr que la resistencia de un concreto a 7 días pueda ser obtenida a 1 día, depende directamente del diseño de mezcla formulado en el laboratorio y a la edad a la que se busca la resistencia especificada, no existen aditivos cuya función específica sea acelerar la obtención de la resistencia de un concreto. Se puede lograr que la resistencia de un concreto aumente, como consecuencia de bajar la relación agua/cemento, como se indicó anteriormente.

Es deber de la ingeniería de proyecto corroborar que las cantidades de cemento facturadas en este proyecto no fueran mayores a las requeridas por el diseño de mezcla de la toba cemento, y por ende por el Diseño de la Estructura de la intervención de las losas de concreto del proyecto en estudio.

Para ilustrar el efecto en la cantidad de cemento y considerando una situación con una sección típica como la que se muestra en la Figura 5, con una capa de base estabilizada de 20 cm de espesor y un ancho de carril de 5,4 metros es posible determinar, a partir de la formula de diseño de mezcla utilizada el día 23 de marzo de 2012, que la demanda de cemento para esa sección sería de 65 toneladas, para la relación utilizada 1:10:3 (7% cemento, 71% finos, 21% gruesos).

⁹ Criterio basado en el análisis de la “Toba-Cemento BE-25 de la carretera Florencio del Castillo” realizado por la Ing. Ana Lorena Monge Sandí, Coordinadora de Laboratorios de Infraestructura Civil.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 21 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

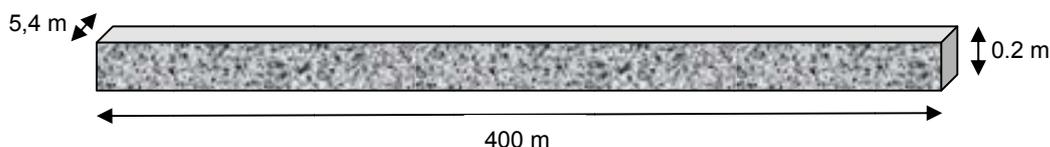


Figura 5. Esquema de intervención. Inicio 18+700. Final 18+300.

Ahora valorando la posible demanda de cemento de un concreto convencional con una relación 1:1,5:2,5 (20%:30%:50%) se establece que la proporción de cemento se incrementa en aproximadamente 2,8 veces, lo que aumentaría el consumo de cemento a un total de 181 ton.

HALLAZGO Nº 3: El material propuesto y utilizado para la capa de base no responde a las características especificadas para alguno de los ítems disponibles dentro de la documentación contractual, estas resultan insuficientes para garantizar la calidad del material utilizado en el proyecto.

Concepto de Base Estabilizada

El concepto fundamental de base estabilizada consiste en incorporar cemento hidráulico a un material granular, con la finalidad de optimizar sus características físico mecánicas, principalmente de resistencia a la compresión o capacidad de soporte, según se establece en la sección 308 “Base Estabilizada con Cemento Portland” del CR-77. Dicho material granular debe cumplir cierta composición granulométrica, entre otros aspectos especificados.

El diseño de la base estabilizada, así como la proporción entre la cantidad de cemento y humedad óptima con relación al tipo de suelo o material granular se establecen mediante el ensayo AASHTO T134 “*Ensayo para la relación de densidad humedad de dosificaciones de suelo – cemento*”, cuyo ensayo se conoce como el ensayo Próctor Estándar, para conocer primeramente la densidad máxima y humedad óptima del material a estabilizar con el cemento incorporado. Para ello el ensayo señalado se debe realizar con el material a estabilizar mezclado con diferentes contenidos de cemento para análisis, con el fin de establecer la densidad máxima y humedad óptima para cada contenido ensayado.

Posteriormente aplicando la metodología de ensayo (ASTM D1633¹⁰) se determina la resistencia a la compresión de cilindros de suelos estabilizados, por lo que se deben preparar cilindros de ensayo, con las humedades óptimas y para los diferentes contenidos de cemento de prueba ensayados¹¹ anteriormente, y a partir de esos resultados de compresión, definir el porcentaje de cemento que cumpla con las condiciones de resistencia requeridas de acuerdo con lo que se demande en el diseño estructural¹².

¹⁰ Procedimiento para determinar el esfuerzo de compresión inconfiada de cilindros de suelos estabilizados.

¹¹ Determinación de la densidad máxima y humedad óptima del material a estabilizar según norma AASHTO T134 ó norma equivalente ASTM D558.

¹² Diseño estructural de pavimento efectuado por el Ing. Ezequiel Vieto Solís (oficio 11-IN-0030b-1721), indica que se requiere una base estabilizada con cemento con una resistencia mínima a los 7 días de 30 kg/cm².

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 22 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

Análisis de caso

En la actualización del diseño estructural¹³, se redefine el material de la capa de base estabilizada como un material de “Toba Cemento Plástica” (designado Toba plástica similar a una BE-25), al analizar los términos cartelarios se determina que el Cartel de Licitación en el apartado “Especificaciones Especiales”, no contiene especificaciones técnicas para dicho material. Por tanto el documento prevaleciente contractualmente es el Manual de “Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-77)” tal como se indica en el cartel de licitación, siendo aplicable la sección 310 “Base de Toba Cemento Plástica”.

Para efectos de granulometría, la sección 310.02 “Agregados” tipifica claramente que se deberán satisfacer los requisitos de la sección 703.07 “Agregados para base estabilizada con cal o cemento portland”, cuyo apartado establece una granulometría específica para este material.

Sin embargo, según oficio DR(Central)-46-12-1673, para la construcción y aceptación de la tobacemento se empleó el ítem M-304(4) “Suministro, colocación y compactación de base de agregado triturado” del cartel de licitación, con el inconveniente de que estas especificaciones técnicas no se ajustan a los requerimientos de la sección 703.07 para un material “Toba Cemento Plástica”, correspondiendo más bien a un material para “base granular” con características muy diferentes. Además se debe tener en cuenta que el Cartel de Licitación, no contempla el reglón de pago para el suministro de agregado para “Base de Toba Cemento Plástica”, por lo que contractualmente se considera una deficiencia que pudo ser sido subsanada con la creación detallada de este reglón de pago.

En cuanto a la valoración de la resistencia de este tipo de material, el mismo manual CR-77, en su sección 310 “Base de Toba Cemento Plástica” y 703.07, lo catalogan como un material clasificado de tipo Hormigón, tanto en el proceso de mezclado y curado, por ende se determina que los ensayos para la determinación de la resistencia a la compresión se realice bajo la normativa AASHTO T22 “Ensayo para el esfuerzo de compresión de especímenes cilíndricos de concreto”. La conformación de los cilindros se efectúa a partir del moldeo del concreto que se cola en el proyecto, en el caso de la toba cemento, aplica de manera similar.

Por otra parte, para cada uno de los materiales mencionados (Base estabilizada y Toba cemento plástica) se establecen claramente diferentes criterios de resistencia a la compresión, los cuales se ensayan en diferentes tipos de especímenes de ensayo, siendo especímenes del ensayo Próctor para la Base estabilizada y moldeo de cilindros de concreto, para la “Toba Cemento Plástica”. Los requisitos de resistencias se presentan en la Tabla 11.

¹³ Oficio 12-IN-0002-1721 del 20 de enero de 2012, emitido por Ing. Ezequiel Vieto Solís.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 23 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

Tabla 11. Resistencia para BE-25 y Toba cemento

Material	Sección CR-77	Ensayo Resistencia	Espécimen	Resistencia mínima (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Revenimiento (cm)	Días de falla
Base Estabilizada BE-25	308 703.07	AASHTO T134	Ensayo Próctor	21	30	NA	7 días
Toba Cemento	310 703.07 703.07B	AASHTO T22	Cilindro de Concreto	35	-	1 a 3	7 días

Por ende, al indicar que se utilizará un material del tipo *“Toba Cemento con resistencia similar a la de una Base Estabilizada BE-25”*, se produce una imprecisión en las características del material propuesto y requerido en el diseño estructural, ya que dicho material no se ajusta específicamente a las propiedades anteriormente comentadas del CR-77.

Debido a que dicho material no se puede calificar como una Base Estabilizada, por el método de fabricación como cemento y de ensayo como hormigón, tampoco se ciñe a las propiedades específicas de un material de Toba Cemento Plástica, ya que se requiere una resistencia a la compresión menor que la requerida en el CR-77 para este material.

Esta imprecisión en las características del material definido en el diseño (*“Toba Cemento con resistencia similar a la de una Base Estabilizada BE-25”*) en el cartel de licitación, aunado a la falta de ítems de pago anteriormente indicados, propicia una confusión en cuanto a las especificaciones a ser aplicadas para valorar la granulometría y la resistencia de dicho material. Del mismo modo, este conflicto afecta la valoración de la calidad del trabajo efectuado, ya que tal como se aprecia en la Tabla 11 ambos materiales tienen especificaciones de resistencia diferentes.

Es criterio de esta auditoría que al proponer un material con características deseables para el cumplimiento de un diseño, se deben especificar claramente en la documentación contractual los tipos de material requeridos con sus respectivas especificaciones. Al proponer materiales que deban cumplir algunas especificaciones relativas a un tipo de material y otras relativas a otro tipo de material, se corre el riesgo que el desempeño que se vaya a obtener del material finalmente utilizado, sea incierto, por lo que se pone en riesgo la inversión realizada.

C. Concreto

HALLAZGO N° 4: Los materiales de concreto muestreados por LanammeUCR cumplen con los requisitos contractuales.

En cuanto a la superficie de ruedo se determinó el uso de concreto hidráulico como capa de rodadura, siendo especificada la resistencia a la compresión del concreto colocado en el “Diseño de Pavimento con losas de dimensiones pequeñas” y de acuerdo con el diseño de mezcla elaborado por el Laboratorio de Calidad del Grupo Orosí, estableciendo una resistencia característica ($f'c$ a 28 días) de 425 kg/cm^2 y un módulo de ruptura (MR) a los 28 días de $4,7 \text{ MPa}$.

Por tanto los días 26 y 28 de marzo de 2012 personal técnico del LanammeUCR durante el proceso de colado de la losa de concreto tomó muestras de concreto fresco, tal como se evidencia en la Fotografía 3.



Fotografía 3. Proceso de colocación de la losa de cemento hidráulico.

Los resultados de ensayo de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto reportados por el Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR e incluidos en el informe de ensayo I-348-12 e I-358-12, se presentan en la Tabla 12.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 25 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

Tabla 12. Valores de resistencia a la compresión de cilindros de concreto a los 28 días

Número de muestra	788-12		726-12		727-12	
Estacionamiento	16+568		18+549		18+512	
Fecha muestreo	28/03/2012		26/03/2012		26/03/2012	
Revenimiento (cm)	20		15		16	
Resistencia a 15 días (kg/cm ²)	430	458	467	410	422	-
Resistencia a 28 días (kg/cm ²)	504	486	476	452	484	500
Resistencia Promedio a 28 días	495		464		492	
Desviación estándar (kg/cm ²)	12,73		16,97		11,31	

Al aplicar el análisis de inferencia estadística a los resultados de resistencia a la compresión de los ensayos de las muestras de concreto tomadas los días 26 y 28 de marzo de 2012, se determina que el concreto tiene una resistencia a la compresión promedio de 484 kg/cm² estableciendo un cumplimiento del 99,5% del valor límite (resistencia característica) establecido en el diseño del concreto, tal como se puede apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de inferencia estadística para resultados de resistencia a la compresión

Resistencia Promedio (kg/cm ²)	483,7
Desviación estándar (kg/cm ²)	18,7
Límite Inferior	425,0
Índice Calidad Inferior (ICI)	3,14
Área bajo curva	0,0053
Porcentaje fuera límites	0,53%
Cumplimiento	99,5%

En cuanto a los resultados de módulo de ruptura a la flexión del concreto, los informes de ensayo de resistencia a la flexión compresión a los 28 días para las vigas de concreto reportados en los informes de ensayo I-348-12 e I-358-12 emitidos por el Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR determinan que el concreto cumple los requerimientos establecidos de módulo ruptura de 4,7 MPa a los 28 días indicado en el "Diseño de Pavimento con losas de dimensiones pequeñas" y en el diseño de mezcla elaborado por el Laboratorio de Calidad del Grupo Orosí, tal como se aprecia en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores de resistencia a la flexión de vigas de concreto a los 28 días

Número de muestra	789-12		728-12	
Fecha muestreo	28/03/2012		26/03/2012	
Revenimiento (cm)	20		16	
Resistencia a la flexión (MPa)	6,11	6,19	6,00	5,94
Promedio a 28 días (MPa)	6,15		5,97	
Desviación estándar (MPa)	0,06		0,04	

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Sección 3 de las Especificaciones Especiales "RUBROS DE REPARACION DE PAVIMENTOS RIGIDOS" apartado M-46(A) del cartel de Licitación para los Proyectos de Conservación Vial Red Vial Nacional Pavimentada Licitación Pública N° 2009LN-000003-CV.

6.2. OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

Las observaciones contenidas en este informe se fundamentan en normativas o especificaciones que no son documentos contractuales, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería y a la experiencia internacional.

6.2.1. Sobre el proceso constructivo

Además de la evaluación de las características físicas de los materiales incorporados en el proyecto "**Rehabilitación de la estructura del pavimento de la Ruta Nacional No.2, Sustitución de losas de concreto de Ochoмого carril interno sentido San José – Cartago**", Contratación Directa No. 2009LN-000003-CV, se efectúa una evaluación de las condiciones constructivas finales del mismo.

D. Deterioros de bordes

OBSERVACIÓN N° 1: Las reparaciones del deterioro de los bordes no abarcaban la totalidad de la grieta que se desarrolló.

Durante las diferentes visitas realizadas los días 14, 19, 21, 22 y 26 de marzo por personal de la Unidad de Auditoría Técnica al proyecto de rehabilitación de la estructura del pavimento incluyendo la colocación de losas sobre la ruta nacional No.2, específicamente en el carril externo en el sentido San José – Cartago, luego de la estación de pesaje, correspondiente al contrato de la "Licitación Pública N° 2009LN-00003-0CV00, Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada por Precios Unitarios", de la zona de Cartago, se observaron deterioros en una de las capas superficiales del borde de algunas losas colocadas durante el pasado mes de diciembre de 2011 en el carril externo, tal como se aprecia en la Fotografía 4. Dicha situación fue debidamente notificada en su momento a la Administración en el oficio LM-IC-D-0345-2012 emitido por el director del Lanamme Ing. Alejandro Navas Carro con fecha de 29 de marzo de 2012.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 27 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------



Fotografía 4. Deterioro de los bordes de la losa de cemento hidráulico.

Posteriormente, los días 27 y 28 de marzo se observó la realización de una intervención de reparación de dichos deterioros, tal como se muestra en la serie de Fotografía 5 a, b, c y d, en donde se efectúa un corte alrededor del concreto desprendido, llegando a una profundidad de aproximadamente 3 cm y retirando el material resultante. Sucesivamente, la superficie se rellena con un aditivo epóxico, semejando un bacheo a profundidad parcial de estos bordes de la losa tal como se puede observar en la Fotografía 5 e y f.





e.



f.

Fotografía 5. Proceso reparación del deterioro de la losa de cemento hidráulico.

Sin embargo, se logró evidenciar que las reparaciones realizadas no abarcaban toda la zona deteriorada, tanto en la zona superficial como la zona lateral de la losa, en donde se produjeron los desprendimientos de concreto, tal como se puede apreciar en la Fotografía 6.





Fotografía 6. Proceso reparación del deterioro de la losa de cemento hidráulico, notéese que el área de corte no abarca la zona completa del agrietamiento o deterioro.

El hecho de no abarcar toda el área dañada (sustituyendo solamente donde es visible superficialmente el desprendimiento del material) puede afectar la continuidad monolítica de la losa de concreto, y su desempeño durante la fase de operación de las losas.

Sin embargo en el oficio DR (Central)-46-12-1673, se indica que los trabajos de ejecución de los trabajos de colocación de epóxico, abarcaban toda el área afectada, cuyo trabajo el personal de la auditoría técnica no logró observar.

E. Grietas longitudinales

OBSERVACIÓN N° 2: Se observaron grietas transversales en tres sitios del proyecto.

Además, durante las diferentes visitas a este proyecto se pudieron apreciar unas grietas que atraviesan el ancho de la losa en al menos tres sitios a lo largo de la intervención que se realizó en el carril externo de este mismo tramo. En la Figura 6 se indican los sitios de localización de estas grietas (estacionamientos 18+407, 18+513 y 18+601), así como imágenes de las mismas (Fotografía 7).



Figura 6. Ubicación de grietas en el proyecto.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 31 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------



a.



b.



Fotografía 7. Proceso de colocación de la losa de cemento hidráulico. a. Grieta 3. b. Grieta 2 y c. Grieta 1 (según Figura 6)

El día 25 de abril de 2012 en oficio GCSV-46-12-1540 la administración informa que dichas grietas “se produjeron por aserrado tardío de las losas y no por una falla estructural de la losa” debido a este deterioro la ingeniería de proyecto instruye a la empresa constructora realizar las reparaciones necesarias de manera inmediata. Para ello la empresa inyectó un adhesivo epóxico de alto módulo, alta resistencia y baja viscosidad en cada una de las grietas.

Posteriormente se extrajeron núcleos para evaluar la efectividad de la intervención, evidenciando que la inyección del epóxico fue deficiente y que la mayoría de las fisuras quedaron sin el material señalado. Por tanto se le ordena a la empresa constructora que efectúe la sustitución de las losas afectadas por donde atraviesa la grieta transversal, en cada de las tres diferentes ubicaciones. Dicha reparación se programó para el mes de mayo de 2012, mediante un plan de flujo de tránsito que impacte de menor forma el tráfico en la autopista Florencia del Castillo, sin embargo al 22 de agosto de 2012 el equipo de auditoría se evidencia que dichas correcciones no se han realizado, tal como se evidencia en la Fotografía 8.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 33 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------



Fotografía 8. Presencia de grietas en las losas de concreto.

Dichas reparaciones deben considerar mantener la continuidad entre losas para permitir la adecuada distribución de cargas producto del paso de los vehículos, con el fin de no reflejar los deterioros a las losas adyacentes.

Según se indica en el oficio DR (Central)-46-12-1673, la reparación no se realiza en el periodo considerado debido a la aparición de lluvias tempranas durante los meses considerados, por lo cual se reprograman su reparación para ser realizada en una nueva intervención de un tramo de losas en el carril externo con el fin de realizar un único cierre, y además coincidir con condiciones climáticas más óptimas, sin embargo no se especifica detalladamente fecha alguna para dicha intervención.

F. Deterioro de espaldón

OBSERVACIÓN N° 3: El espaldón muestra un deterioro importante.

Por último fue evidente un importante grado de deterioro entre la unión de la losa de concreto con el espaldón y el sistema de cunetas, el cual muestra un alto nivel de agrietamiento y desprendimiento de material, tal como se confirma en la Fotografía 9.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 34 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------



Fotografía 9. Deterioro del espaldón de concreto.

La administración indica en oficio GCSV-46-12-1540 enviado a esta auditoría el día 25 de abril de 2012 que el agrietamiento y desprendimiento de material obedece a que, durante la segunda etapa constructiva de las losas, gran parte de la carga vehicular transitó por la unión de la losa con el espaldón, por lo que las grandes cargas y la baja resistencia del concreto colocado en este lugar son los causantes del deterioro observado. Además se indica que conforme sea necesario, y de acuerdo con lo observado en el sitio, se realizarán las reparaciones correspondientes.

Es imprescindible efectuar las reparaciones evidenciadas en la unión de la estructura losa-espaldón, con el fin de reducir y evitar la infiltración del agua y de partículas incompresibles al sistema de losas de concreto, ya que podrían comprometer la calidad y durabilidad de la obra ejecutada.

Posteriormente en el oficio DR (Central)-46-12-1673, se señala que la reparación será realizada en una nueva intervención de un tramo de losas en el carril externo con el fin de realizar un único cierre, conjuntamente con la reparación de las grietas transversales, sin embargo, al igual que el caso anterior no se especifica detalladamente fecha alguna para dicha intervención.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 35 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

7. CONCLUSIONES

A partir de las visitas al proyecto de rehabilitación de la estructura del pavimento mediante colocación de losas cortas sobre la ruta nacional No.2, específicamente en el carril externo en el sentido San José – Cartago, luego de la estación de pesaje, correspondiente al contrato de la “Licitación Pública N° 2009LN-00003-0CV00, Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada por Precios Unitarios”, de la zona de Cartago, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

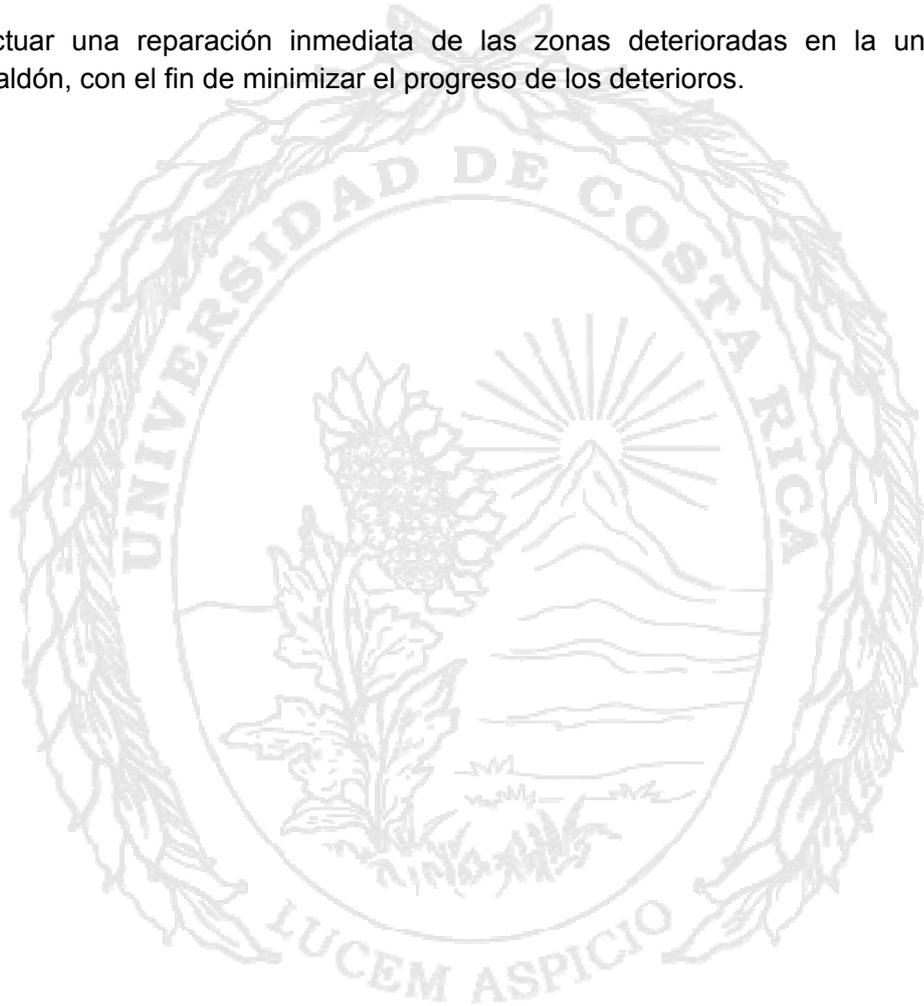
- a. Se determina que el agregado mineral utilizado como material de subbase reúne las características físicas que se especifican en los documentos contractuales, en cuanto a plasticidad, índice de soporte y granulometría.
- b. El material de Toba Cemento Plástica colocado como base propuesto en el “Diseño de pavimento con losas de dimensiones pequeñas” no cumple los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en el CR-77 para una toba cemento plástica.
- c. El concreto colocado en la superficie de ruedo desarrolló la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión establecidos en el “Diseño de pavimento con losas de dimensiones pequeñas”, cumpliendo con los requisitos de resistencia indicados en el cartel de licitación.
- d. Durante la etapa constructiva se observó el deterioro del borde de la capa superficial en algunas de las losas coladas durante el pasado mes de diciembre de 2011 en el carril externo, a las cuales se les realizó una intervención de reparación de bacheo a profundidad parcial mediante el relleno con un aditivo epóxico. Sin embargo se logró evidenciar que las reparaciones realizadas no abarcaban toda la zona deteriorada, tanto en la zona superficial como la zona lateral de la losa, en donde se produjeron los desprendimientos de concreto. Esta situación fue notificada el 29 de marzo de 2012 en oficio LM-IC-D-0345-2012.
- e. Asimismo, se pudieron apreciar unas grietas que atraviesan el ancho de la losa en al menos tres sitios a lo largo de la intervención que se realizó en el carril externo, en el mes de diciembre, en este mismo tramo, las cuales a la entrega de este informe no han sido reparadas.
- f. Por último fue evidente un alto nivel de agrietamiento y desprendimiento de material entre la unión de la losa de concreto con el espaldón y el sistema de cunetas.

Informe Final LM-PI-AT-114-12	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 36 de 38
----------------------------------	-----------------------------------	-----------------

8. RECOMENDACIONES

A continuación se listan algunas recomendaciones para que sean consideradas por la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, con el propósito de que se definan e implementen soluciones integrales a éste y futuros proyectos.

- a. Realizar inspecciones visuales con mayor rigurosidad de los deterioros que se presenten en un proyecto, con el fin de identificar exactamente la magnitud y grado del deterioro e incorporar zonas afectadas en la solución propuesta.
- b. Efectuar una reparación inmediata de las zonas deterioradas en la unión losa-espaldón, con el fin de minimizar el progreso de los deterioros.



Equipo Auditor

Ing. Víctor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico, LanammeUCR

Ing. Mauricio Salas Chaves.
Auditor Técnico, LanammeUCR

Aprobado por:

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

Aprobado por:

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

Visto bueno de legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado.
Asesor Legal LanammeUCR