




Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-55-11



**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA AL
PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA
LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO
VIRILLA, RUTA N°1**

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica
Agosto, 2011



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-55-11

RESUMEN EJECUTIVO

**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA AL
PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA
LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO
VIRILLA, RUTA N°1**

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica
Agosto, 2011



PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1.

Informe de Auditoría Técnica Externa LM-PI-AT-55-11

Potestades

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 del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

Objetivo

Realizar una evaluación de la gestión técnica en lo referente a los procesos de conceptualización del proyecto, diseño, proceso constructivo y control de calidad de los materiales incorporados y desempeño de la rehabilitación del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.

Alcance

Análisis de la gestión técnica del proyecto en cuanto a la verificación de los estudios preliminares que dieron origen a la solución propuesta, revisión del diseño planteado, control de calidad de los materiales incorporados así como mediciones complementarias para evaluar el desempeño de la losa de rejilla metálica del puente en servicio. Dado que el presente informe es el producto de un procedimiento de Auditoría Técnica, desarrollado en el marco de las competencias asignadas en el artículo 6 de la Ley 8114 al LanammeUCR, se establece fuera de su alcance la realización de inspecciones o evaluaciones conducentes a determinar la condición de conservación actual del puente así como el análisis estructural global de la estructura que contemple la modelación estructural ó evaluación de capacidad sísmica del puente. Además no se realizó auscultación de la condición existente de la subestructura (pilas, bastiones y sus respectivas cimentaciones), ni de la superestructura del puente (tipo armadura). Se considera que estas labores son actividades propias de la Administración y que para su ejecución efectiva, deben formar parte de un plan de rehabilitación completo, suficiente y competente, que incluya los recursos necesarios para tales fines. El informe de Auditoría Técnica es un insumo para la Administración, el cual se puede utilizar para implementar acciones que encaminen al mejoramiento, desde el punto de vista técnico ingenieril, de la planificación en la generación de proyectos, elaboración de diseños y estudios básicos, así como los respectivos procedimientos de contratación empleados para el desarrollo de obras viales y que a la vez faciliten el señalamiento, por parte de la Administración, de las responsabilidades correspondientes ante posibles incumplimientos y/o deficiencias señaladas en el presente informe.

Localización



Puente sobre el Río Virilla,
Ruta N°1.

Descripción general del proyecto

Esta intervención se efectuó en dos etapas, iniciando con el proceso de licitación para la compra de las unidades de rejillas metálicas y la posterior contratación directa para la demolición de la losa existente e instalación del sistema de rejillas metálicas. La compra de la rejilla la realizó Corpac Steel Products, Corp., quien la adquirió al fabricante de rejillas LB Foster durante el proceso de licitación de compra promovido por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del CONAVI.

En tanto, la empresa Soares da Costa fue la encargada de la instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el río Virilla. CEMEX suplió el concreto requerido para este proyecto. El colado del concreto se realizó en dos sitios, el de relleno de las rejillas metálicas a media altura se realizó en planta, mientras que el colado en las juntas perimetrales de las uniones de las rejillas metálicas se llevó a cabo en el sitio de obra.

La actividad de supervisión durante la etapa de demolición de la losa, construcción e instalación del sistema de rejillas, la ejerció la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes del CONAVI, junto con el Laboratorio de Geotecnia y Materiales del MOPT, el Laboratorio del MOPT, sede San Ramón y la Departamento de Calidad de dicha gerencia. Por su parte, Soares da Costa, contó con el Laboratorio de CACISA quien realizó el control de calidad. CEMEX realizó su propio proceso de control de calidad.

El proceso de colocación se desarrolló en 4 etapas, iniciando en los carriles internos (paneles C y F) en cada uno de los sentidos San José-Alajuela, Alajuela-San José y finalizando con la colocación de los carriles externos y acera de paso peatonal (paneles A-D y B-E). Conforme cada etapa se concluía, se habilitaba para la circulación del tránsito. En un lapso de 7 días se evidenció un proceso de deterioro en el concreto.

Antecedentes y justificación del informe de auditoría

De conformidad con el plan de trabajo del LanammeUCR y bajo el marco de competencias que le asigna el artículo 6 de la Ley 8114 en materia de asesorías técnicas profesionales, fue remitido el oficio LM-IC-D-1105-10 de fecha 10 de setiembre de 2010, suscrito por el Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR y dirigido a la Ing. María Lorena López, Viceministra de Infraestructura y Concesiones del MOPT, mediante el cual se le solicitara información referente al proyecto sobre el río Virilla Ruta N°1, en primera instancia, el cartel de licitación. Lo anterior con la finalidad de proceder con los análisis correspondientes a la intervención propuesta para el puente. No obstante lo anterior, en razón de no recibir respuesta a la solicitud planteada mediante el oficio ya citado, se remite un segundo oficio, LM-IC-D-1458-10 de fecha 26 de noviembre de 2010 por parte del Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR. En éste se indica que el estudio, con carácter de asesoría



preventiva, cuyo objetivo principal hubiese versado sobre el impacto que tenía la sustitución de la losa en el comportamiento global del puente, no podría ser llevado a cabo por no contarse con la información solicitada.

Considerando la importancia que tiene este puente para el país y de conformidad con las potestades que los artículos 5 y 6 de la Ley 8114 le confieren al LanammeUCR se determina oportuno realizar una Auditoría Técnica a este proyecto, atendiendo la solicitud del Ministro Francisco Jiménez Reyes mediante el oficio DMOPT-1384-11 de fecha 09 de marzo del año 2011

Audiencia a la parte auditada para análisis del informe preliminar LM-PI-AT-55B-11

Como parte de los procedimientos de Auditoría Técnica y en lo referente a la remisión del informe preliminar, el día 6 de julio del 2011 se brindó audiencia a la parte auditada, mediante la presentación y entrega del informe preliminar LM-PI-AT-55B-11 mediante oficio LM-IC-D-780-2011. Una vez que la parte auditada brindó las observaciones que consideraron oportunas al informe preliminar, corresponde la elaboración del informe final LM-PI-AT-55-11 constituido por tres partes. Los aspectos estrictamente profesionales, técnicos y legales contenidos en los oficios de descargo por parte del área auditada, fueron analizados de manera detallada y con estricto apego a los criterios técnicos, ello en el marco de la objetividad, independencia y transparencia que rigen en el ámbito de auditoría técnica y a la rigurosidad profesional que caracteriza a los funcionarios del LanammeUCR.

Descripción general del informe de auditoría

El informe de "Auditoría Técnica al Proyecto de Intervención de la Losa del Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1" está constituido por tres partes, en cada una de ellas se examina un tema específico relacionado con el proceso de compra e instalación de la rejilla metálica y la remoción de la losa existente. Cada parte, que constituye un informe individual, está titulada de la siguiente manera:

PRIMERA PARTE: "Conceptualización del Proyecto"

SEGUNDA PARTE: "Valoración del Concreto utilizado en el Sistema de Rejilla Metálica"

TERCERA PARTE: "Desempeño Funcional y Estructural del Sistema de Rejilla Metálica"

Descripción de los Hallazgos contenidos en cada informe

PRIMERA PARTE (1/3) "CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO"

Las reparaciones a la junta de expansión y la intervención de la losa del puente fueron atendidos como imprevisibilidad y urgencia, respectivamente; sin embargo, su origen es consecuencia de las debilidades en planificación y de la falta de implementación del Sistema de Administración de Puentes. A pesar del carácter de urgencia, los procesos de contratación superaron los 8 meses, período que el MOPT-CONAVI pretendía evitar con la autorización de la contratación directa ante la CGR.

Durante el desarrollo de los procedimientos de contratación tanto para la compra como para la instalación de la rejilla metálica se evidenció falta de planificación, falta de suficiente experiencia y claridad, por parte de los involucrados en la formulación de los requisitos generales y específicos del proyecto, lo cual incidió en el tiempo de respuesta de atención del proyecto, a pesar del carácter de urgencia declarado por el MOPT-CONAVI. Lo anterior evidenciado en aspectos como: cambio en el tipo de procedimiento de contratación para la compra de la rejilla metálica, solicitudes recurrentes de información para elaborar los términos de referencia de ambas contrataciones, cambio en la cantidad y dimensiones de rejillas a comprar y alcance de la intervención propuesta 2009 versus 2011, entre otros.

Los estudios preliminares realizados por el MOPT-CONAVI para implementar la intervención fueron insuficientes. Se establece que como gestores de la solución de intervención definida para el puente, no se generó información relacionada con inventarios o formularios de inspecciones visuales actualizadas, análisis estructura global de la estructura, relacionados con el desarrollo de buenas prácticas de la ingeniería, para ser utilizados en la toma de decisiones técnicas relacionadas con el tipo de intervención adecuada en tiempo y forma a las condiciones tanto estructurales como funcionales del puente. La solución planteada se propuso con la finalidad de reducir el peso de la losa, lo que en principio implicaba el incremento de capacidad viva, lo cual hacía innecesario el



refuerzo de las vigas y cerchas de la superestructura. Las modificaciones que se tramitan actualmente (OM2) para definir actividades de reforzamiento contradicen la efectiva ventaja del sistema de rejilla metálica seleccionado.

El análisis estructural realizado para la intervención de la losa sobre el Río Virilla es incompleto y las revisiones o verificaciones realizadas a éste son insuficientes, ya que no contempla las revisiones relacionadas con deflexiones, fatiga y sismo. En la intervención realizada en el puente sobre el Río Virilla, no se realizó un análisis estructural global para verificar la necesidad de reforzar las vigas y cerchas de la superestructura y la subestructura, finalmente la intervención no contempló la readecuación sísmica de la estructura. Desde un punto de vista integral, lo evidenciado en este capítulo constituye la causa raíz de la problemática presentada en el puente sobre el río Virilla.

SEGUNDA PARTE (2/3) **“VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”**

Los concretos utilizados en el sistema de losa compuesto por rejillas metálicas consistieron esencialmente de dos tipos, uno convencional requerido contractualmente para desarrollar la resistencia de 280 kg/cm² a los 28 días, el cual fue colado en planta para rellenar las rejillas a media altura, y otro de alta resistencia para ser empleado en sitio para el relleno de las juntas perimetrales de las rejillas y requerido para alcanzar la resistencia de 280 kg/cm² a las 24 horas.

El concreto utilizado cumple con los requisitos de resistencia mínima de 280 kg/cm² a la apertura del tránsito según lo establecido por la Administración, sin embargo para su uso en rejillas, no se incluyeron en el cartel los requerimientos que establecen los manuales de diseño y construcción de LRFD AASHTO y la Asociación de Rejilleros BGFMA en cuanto a la relación agua cemento y tamaño máximo especificados para este tipo de concretos. Por lo tanto, existieron factores adicionales a la resistencia del concreto, que la Administración debió especificar para el concreto requerido en el proyecto. El análisis estadístico de los resultados de resistencia a la compresión del concreto, emitidos por los laboratorios de control de calidad (CACISA y CEMEX) y de los laboratorios de verificación del MOPT (Central y San Ramón), determina que el concreto convencional cumple el requisito de resistencia de 280 kg/cm² a los 28 días, mientras que el concreto de alta resistencia muestra que un 14% de los resultados son menores a la resistencia de 280 kg/cm² a las 24 horas. Sin embargo, al considerar la resistencia a compresión a la fecha de apertura de cada una de las etapas en las que se ejecutó el proyecto, el lapso de tiempo transcurrido entre el colado y la finalización de cada una, permitió que los concretos desarrollaran resistencias mayores, sobrepasando el valor contractual de 280 kg/cm². No hay evidencia contundente para considerar que algún factor en particular tal como las condiciones de colocación, el método de curado, la contracción y la falta de adherencia del concreto, entre otros, estén provocando los deterioros del concreto, no obstante, no se debe descartar que la suma de diversos factores pueden contribuir al deterioro por la interacción del sistema de rejilla metálica, la estructura del puente y el flujo vehicular.

TERCERA PARTE (3/3) **“DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”**

La cuantificación de las áreas deterioradas permitió clasificar, ubicar y cuantificar los deterioros exhibidos en la losa sobre el Río Virilla. La evaluación se realizó aplicando dos técnicas, una a través de la utilización del equipo GEO3D que permite cuantificar con precisión el área deteriorada en la losa mixta y otra por medio de una auscultación visual que permitió cuantificar la cantidad de paneles reparados. Estas auscultaciones permitieron verificar la evolución de los deterioros y la efectividad de las reparaciones realizadas.

En general, las áreas de deterioro por franja de paneles tipo B y E, en la longitud del puente, en el sentido Alajuela- San José presentan un área de deterioro mayor con relación a los otros paneles. En el sentido San José- Alajuela se observa que los paneles tipo E, en el tramo de 76m, presentan mayor área de deterioro respecto a los demás, mientras que en los tramos de 27m no se observa un patrón determinante. Los resultados de las auscultaciones permitieron determinar la magnitud de los deterioros presentados en la losa mixta desde los primeros meses de su puesta en servicio. Se pudo cuantificar una cantidad de 287 paneles intervenidos entre el 8 de abril y el 8 de junio. Las constantes intervenciones en los paneles de las rejillas mixtas plantean la necesidad de continuas reparaciones



en el futuro debido a que las ya realizadas, evidencian no ser efectivas, a pesar del uso de materiales cementantes de alta resistencia.

Los deterioros presentados evidencian que el desempeño estructural del puente no es el esperado, por lo que se realizó un estudio técnico para verificar las posibles causas que los provocan. De éste se pudo determinar que de acuerdo con las características de la intervención escogida y el sistema constructivo empleado, los deterioros se presentan debido a deflexiones importantes en los paneles que podrían deberse a cambios en la rigidez del sistema originalmente escogido, inadecuada continuidad en las juntas longitudinales, entre otros aspectos que podrían provocar que el concreto falle por aplastamiento y posterior delaminación por la combinación de esfuerzos a los que está sometido, debido a que la rejilla mixta no actúa como un sistema compuesto. Como se comenta en la parte 2 del informe, no se debe descartar la contribución de aspectos adicionales que pudieron influenciar en fallas en el proceso constructivo y que no existe evidencia contundente para determinar su ocurrencia. Sin embargo, son aspectos que pueden sumar a las posibles causas mencionadas anteriormente, contribuyendo a los deterioros presentados. Asimismo el desprendimiento del concreto de las rejillas, causa que algunos elementos de acero se fracturen, ante el tránsito vehicular. Por otra parte, se encontraron algunas deficiencias en el sistema constructivo que inciden a favor de mayores deflexiones y vibraciones, y en consecuencia, a deterioros constantes en la losa mixta colocada.

Durante la auscultación visual se comprobó que los drenajes construidos no corresponden a los drenajes rectangulares especificados en planos; en lugar de esto se hicieron perforaciones a la losa, con el consecuente riesgo que se obstruyan y provoquen acumulaciones de agua en la superficie, promoviendo la incidencia de accidentes por hidroplaneo o por falta de visibilidad. Por otra parte, los drenajes se encuentran inconclusos por lo que la salida de agua expone a algunos elementos a corrosión. Adicionalmente, se pudo evidenciar que no existe una verificación por parte de la Administración que demuestre que el puente tiene capacidad de resistir solicitaciones sísmicas luego de la sustitución de la losa de concreto reforzado por la rejilla rellena parcialmente con concreto.

De acuerdo con la inversión realizada de casi 4 millones de dólares en la sustitución de la losa existente, y considerando la importancia del puente, era necesario la realización de estudios completos para garantizar un desempeño adecuado de la estructura.





Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-55-11

**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA AL
PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA
LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO
VIRILLA, RUTA N°1**

PRIMERA PARTE
(1/3)
“CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO”

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica
Agosto, 2011

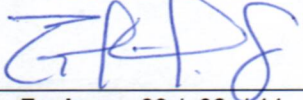

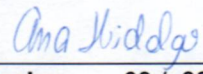
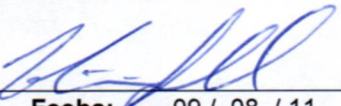
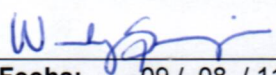
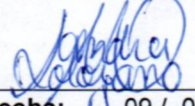
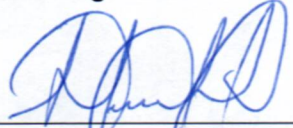
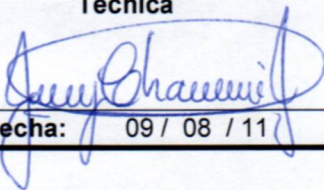
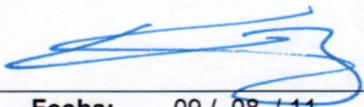
1. Informe LM-PI-AT-55-11		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1. PARTE I: CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO.		4. Fecha del Informe Agosto, 2011
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales 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: En relación con la conceptualización del proyecto, se evaluaron los siguientes aspectos:		
<p>1. El desarrollo del contexto dentro del cual se decide realizar la intervención de la sustitución de la losa del puente: Las reparaciones a la junta de expansión y la intervención de la sustitución de la losa del puente fueron atendidos como imprevisibilidad y urgencia, respectivamente; sin embargo, su origen es consecuencia de las debilidades en planificación y de la falta de aplicación del Sistema de Administración de Puentes.</p> <p>2. La calidad del desarrollo de los procedimientos de contratación tanto para la compra como para la instalación de la rejilla metálica: Se evidenció falta de planificación, suficiente experiencia y claridad, por parte de los involucrados en la formulación de los requisitos generales y específicos del proyecto, lo cual incidió en el tiempo de respuesta de atención del proyecto, a pesar del carácter de urgencia declarado por el MOPT-CONAVI.</p> <p>3. La calidad de los estudios preliminares previos a la definición de la solución de intervención mediante la sustitución de la losa del puente: Los estudios preliminares realizados por el MOPT-CONAVI para implementar la intervención fueron insuficientes. No se encontró información relacionada con inventarios o formularios de inspecciones visuales actualizadas, que sirvieran en la toma de decisiones técnicas relacionadas con el tipo de intervención adecuada en tiempo y forma a las condiciones tanto estructurales como funcionales del puente.</p> <p>4. El análisis estructural realizado para la intervención de la losa sobre el Río Virilla: El análisis estructural realizado para la intervención de la losa sobre el Río Virilla es incompleto y las revisiones o verificaciones realizadas a éste son insuficientes.</p>		
10. Palabras clave Puente, losa, rejilla metálica, planificación, contratación, estudios preliminares, análisis estructural	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 73
13. Preparado por:		
Ing. Raquel Arriola Guzmán Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 11	Ing. Víctor Cervantes Calvo Auditor Técnico  Fecha: 09 / 08 / 11	Ing. Ana Hidalgo Arroyo Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 11
Ing. Mauricio Salas Chaves Auditor Técnico  Fecha: 09 / 08 / 11	Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 11	Ing. Sandra Solórzano Murillo Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 11
14. Revisado por:		15. Aprobado por:
Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR  Fecha: 09 / 08 / 11	Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng Coordinador Unidad de Auditoría Técnica  Fecha: 09 / 08 / 11	Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 09 / 08 / 11



TABLA DE CONTENIDO

1.	FUNDAMENTACIÓN	7
2.	OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	7
3.	ANTECEDENTES	8
3.1	<i>ANTECEDENTES DEL PROYECTO</i>	8
3.2	<i>ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE AUDITORÍA TÉCNICA</i>	8
3.3	<i>AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-AT-55B-11</i>	10
4.	ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME	11
4.1	<i>OBJETIVO GENERAL DEL INFORME</i>	12
4.2	<i>ALCANCE GENERAL DEL INFORME</i>	12
5.	INFORME PRIMERA PARTE: “CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO” ...	13
5.1	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	13
5.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	13
5.3	<i>ALCANCE ESPECÍFICO</i>	13
6.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
6.1	<i>INFORMACIÓN GENERAL</i>	13
6.2	<i>ALCANCE DEL PROYECTO</i>	15
7.	INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR	15
8.	LIMITACIONES DEL ESTUDIO	16
9.	INTRODUCCIÓN	16
9.1	<i>SISTEMA ADMINISTRACIÓN PUENTES</i>	16
9.2	<i>CONCESIÓN SAN JOSE-SAN RAMÓN</i>	19
9.3	<i>INFORME LANAMMEUCR 2006: “EVALUACIÓN PRELIMINAR PROYECTO SAN JOSÉ - SAN RAMÓN PROGRAMA DE TRABAJO 2006”</i>	22
10.	RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	24
10.1	<i>SOBRE LA CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO</i>	24
10.2	<i>SOBRE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES REALIZADOS AL PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA</i>	49
10.3	<i>SOBRE EL DISEÑO Y REVISIONES REALIZADAS AL PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA</i>	58
11.	CONCLUSIONES	66
12.	RECOMENDACIONES	71



ANEXOS

Anexo 1: “Informe sobre el comportamiento de la nueva superficie de ruedo del puente sobre el río Virilla Ruta Nacional 1. Respuesta dinámica de la superestructura del puente”. Elaborado por Ing. Guillermo Santana B., Ph.D. Coordinador del Programa de Investigación en Ingeniería Estructural, LanammeUCR.

Anexo 2: Informe técnico LM-PI-UP-02-2011: “Evaluación de documentación técnica relacionada con el proyecto de sustitución de la losa original del puente sobre el Río Virilla-Ruta 1”. Elaborado por la Unidad de Puentes, LanammeUCR.

Anexo 3: Hoja de inspección de puentes. Formularios JICA-2007

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proyecto Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1.	6
Figura 2: Tipo y calidad de la información requerida dependiendo de la complejidad del proyecto.	17
Figura 3. Diagrama de funcionamiento del Sistema de Administración de Puentes	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Modificaciones presentadas durante el proceso de compra de la rejilla metálica. ..	32
Tabla 2. Modificaciones presentadas durante el proceso de contratación de la instalación de la rejilla metálica.....	33
Tabla 3. Resumen oficios que tratan la intervención tanto provisional como definitiva.	41
Tabla 4. Cuadro comparativo entre la solución de losa colada de 22 cm de espesor y el piso mixto de rejilla.	44

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 4 de 73
------------------------------	--	----------------



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
Intervención de la losa del puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1
Contratación Directa No. 2010CD-000128-DI
PRIMERA PARTE: CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

PROCESO DE COMPRA DE REJILLA

Monto original del contrato: \$2.327.785,00

Plazo original de ejecución: 100 días naturales

REPRESENTANTES ADMINISTRACIÓN

Departamento encargado de la definición del material a adquirir y sus especificaciones:
Dirección de Puentes, MOPT

Departamento encargado de la preparación del cartel de licitación y evaluación técnica-económica de ofertas: Gerencia de Contratación de Vías y Puentes, CONAVI

REPRESENTANTES CONTRATISTA

Proveedor de rejilla metálica: Corpac Steel Products, Corp.

Fabricante de rejilla metálica: LB Foster Fabricated Products

PROCESO DE INSTALACIÓN DE REJILLA

Monto original del contrato: ϕ 861.576.352,69

Plazo original de ejecución: 90 días naturales

Orden de inicio: 15 de Diciembre del 2010

REPRESENTANTES ADMINISTRACIÓN

Departamento encargado del diseño del proyecto: Dirección de Puentes, MOPT

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

Departamento encargado de la verificación de la calidad: Laboratorio de Geotecnia y Materiales del MOPT, Laboratorio del MOPT sede San Ramón, Departamento de Calidad de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, CONAVI.

REPRESENTANTES CONTRATISTA

Empresa contratista: Soares da Costa, Construcciones Centroamericanas S.A.

Laboratorio de control de calidad: CACISA, Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A.

Proveedor de concreto: CEMEX, Costa Rica

Aseguramiento de la Calidad: Organismo ensayo de CEMEX.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Actividad: Sustitución de la losa maciza de concreto por losa de rejilla metálica

Lugar: Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1

Longitud del puente: 160 metros

Cantidad de rejillas a colocar: 408 unidades, según contrato.

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
Intervención de la losa del puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1
Contratación Directa No. 2010CD-000128-DI
PRIMERA PARTE: CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

Objetivo:

Realizar una evaluación de la gestión técnica realizada por la Administración MOPT-CONAVI en lo referente a los procesos de conceptualización y diseño del proyecto del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.

Alcance del informe:

Análisis de la gestión técnica del proyecto en cuanto a la evaluación del desarrollo de los procedimientos de contratación tanto para la compra como la instalación de la rejilla metálica, verificación de los estudios preliminares que dieron origen a la solución propuesta y revisión del diseño estructural planteado

Ubicación de la ruta auditada:



Figura 1. Proyecto Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1.
Fuente: CONAVI



1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la ley 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 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.” (El subrayado no es del texto original).

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 Nº 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.



Se pretende que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se conceptualizó, evaluó y se definió la solución, así como la forma en la que se desarrolló este proyecto de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben mejorar tanto en este proyecto como en la intervención inminente en el sistema de puentes de la red vial para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de planteamiento y valoración insuficiente de soluciones, atrasos en el proceso licitatorio, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles, entre otros, de modo que se procure siempre una calidad esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.

3. ANTECEDENTES

3.1 Antecedentes del proyecto

A mediados del mes de abril de 2009, la losa del puente sobre el río Virilla comienza a mostrar un deterioro en la junta de expansión, en el sentido San José Alajuela, localizada entre el segundo tramo de vigas y el tramo de cercha metálica. El CONAVI empleó diversas técnicas de intervención y reparaciones en dicha junta las cuales no tuvieron los resultados esperados, continuando este problema durante un lapso de 4 meses.

Este hecho apresuró la intervención de la losa en el puente, que a criterio de diferentes ingenieros mostraba un alto grado de deterioro, lo que provocaba la urgencia de la actuación. Debido a esto, se planteó la remoción y sustitución de la losa existente por un sistema de losa conformado por rejillas metálicas rellenas con concreto.

3.2 Antecedentes del estudio de Auditoría Técnica

Dada la importancia que tiene la Ruta Nacional N°1 para el país, el interés de participación del LanammeUCR en el análisis de la intervención de la rehabilitación propuesta por el MOPT para el puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, fue generado y comunicado a dicha institución en setiembre del 2010, previo al inicio de la puesta en marcha de la ejecución de la intervención de la losa del puente, es decir antes del 15 de diciembre del 2010, fecha en que se dio la orden de inicio de este proyecto.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 8 de 73
------------------------------	--	----------------



De conformidad con el plan de trabajo del LanammeUCR y bajo el marco de competencias que le asigna el artículo 6 de la Ley 8114 en materia de asesorías técnicas profesionales, fue remitido el oficio LM-IC-D-1105-10 de fecha 10 de setiembre de 2010, suscrito por el Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR y dirigido a la Ing. María Lorena López, Viceministra de Infraestructura y Concesiones del MOPT, mediante el cual se le solicitara información referente al proyecto de rehabilitación del puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1. Específicamente, mediante el referido oficio, se le solicitó el cartel de licitación correspondiente al proyecto de intervención de cita. Lo anterior con la finalidad de proceder con los análisis correspondientes a la intervención propuesta para el puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1.

No obstante lo anterior, en razón de no recibir respuesta a la solicitud planteada mediante el oficio ya citado, se remite un segundo oficio por parte del Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR; específicamente el oficio LM-IC-D-1458-10, de fecha 26 de noviembre de 2010. En éste se indica que el estudio, con carácter de asesoría preventiva, cuyo objetivo principal hubiese versado sobre el impacto que tenía la sustitución de la losa en el comportamiento global del puente, no podría ser llevado a cabo por no contarse con la información solicitada.

En febrero del 2011, posterior al proceso constructivo de la losa de rejilla metálica y en virtud de la problemática presentada en la losa del puente, mediante el oficio DMOPT-1384-11 de fecha 9 de marzo del 2011 emitido por el Señor Ministro, Ing. Francisco Jiménez Reyes y dirigido a Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR, quien solicita: *“el criterio experto y la realización de los estudios pertinentes a efectos de determinar a qué obedecen los problemas apuntados, ampliamente divulgados por la prensa nacional, medidas correctivas a implementar e incluso la determinación de eventuales responsabilidades por deficiencias en el diseño, el proceso constructivo y/o calidad de los materiales”*.

Atendiendo la solicitud del Ministro Francisco Jiménez Reyes y al analizar los términos de la solicitud dentro de un proceso de ejecución de un contrato de un proyecto concluido, se le indica a través del oficio LM-IC-D-283-2011 del 15 de marzo del 2011 emitido por el Ing. Alejandro Navas Carro, que considerando la importancia que tiene este puente para el país y de conformidad con las potestades que los artículos 5 y 6 de la Ley 8114 le confieren al LanammeUCR, se considera oportuno realizar una Auditoría Técnica a este proyecto.

Así las cosas, se da inicio al proceso de Auditoría Técnica al proyecto de intervención de la sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1 que da origen al presente informe.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 9 de 73
------------------------------	--	----------------



3.3 Audiencia a la parte auditada para análisis del informe preliminar LM-AT-55B-11

Como parte de los procedimientos de Auditoría Técnica y en lo referente a la remisión del informe preliminar, el día 6 de julio del 2011 se brindó audiencia a la parte auditada, mediante la presentación y entrega del informe preliminar LM-AT-55B-11 mediante oficio LM-IC-D-780-2011. En esta audiencia participaron por parte del área auditada: el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes, la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones y el Ing. Carlos Acosta Monge, Director Ejecutivo del CONAVI y el Ing. Jorge Gutiérrez Gutiérrez PhD; por parte del LanammeUCR, el Ing. Alejandro Navas Carro, MSc, Director, Ing. Guillermo Loría Salazar PhD, Coordinador de PITRA, Ing. Guillermo Santana Barboza PhD e Ing. Rolando Castillo Barahona PhD, como expertos técnicos en Ingeniería Estructural, el Ing. Jorge Arturo Castro Herrera y parte del equipo auditor encargado del desarrollo del informe, a saber, Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica, Ing. Raquel Arriola Guzmán, Ing. Víctor Cervantes Calvo y el Ing. Mauricio Salas Chaves.

En igual forma y como parte de los procedimientos de auditoría antes mencionados, una vez que la parte auditada brindó las observaciones que consideraron oportunas al informe preliminar, corresponde la elaboración del informe final LM-AT-55-11 constituido por tres partes, y para tales efectos, se consideraron dentro del análisis respectivo los siguientes oficios:

1. DMOPT-4324-11 del 12 de julio 2011, emitido por el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes
2. DVI-1119-11 del 13 de julio 2011 emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones
3. LM-IC-D-829-11 del 15 de julio 2011 emitido por el Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR.
4. DMOPT-4503-11 del 19 de julio 2011, emitido por el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes
5. DVI-1151-11 del 13 de julio 2011, recibido en el LanammeUCR el 22 de julio 2011, emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones
6. DMOPT-4641-11 del 26 de julio 2011, emitido por el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes, en el que se adjuntan los siguientes oficios:

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 10 de 73
------------------------------	--	-----------------



- a. DVI-1159-11 del 26 de julio 2011 emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones
- b. 2011453 del 26 de julio 2011 emitido por la Ing. María Ramírez González, Directora de Puentes, MOPT
- c. DIE-01-11-2658 del 22 de julio 2011 emitido por el Ing. Carlos Acosta Monge, Director Ejecutivo del CONAVI

Los oficios 2011453 del 26 de julio de 2011 emitido por la Ing. María Ramírez González, Directora de puentes, MOPT-DIE-01-11-2658 del 22 de julio de 2011 emitido por el Ing. Carlos Acosta Monge, Director Ejecutivo del CONAVI y el DVI-1119-11 de fecha 13 de julio de 2011 emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones; corresponden a los comentarios de la parte auditada al informe preliminar de Auditoría Técnica. Los aspectos estrictamente profesionales, técnicos y legales contenidos en los referidos oficios fueron analizados de manera detallada y con estricto apego a los criterios técnicos, ello en el marco de la objetividad, independencia y transparencia que rigen en el ámbito de auditoría técnica y a la rigurosidad profesional que caracteriza a los funcionarios del LanammeUCR. Así mismo, es importante resaltar que toda consideración de orden calificativo y subjetivo que como tal, no inciden en el contenido del informe por no guardar relación con aspectos de orden profesional técnico o legal, contenido en los oficios de cita, no son considerados para la emisión del presente informe de Auditoría Técnica.

4. ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME

El informe de “Auditoría Técnica al Proyecto de Intervención de la Losa del Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1” está constituido por tres partes, en cada una de ellas se examina un tema específico relacionado con el proceso de compra e instalación de la rejilla metálica y la remoción de la losa existente. Cada parte, que constituye un informe individual, está titulada de la siguiente manera:

- PRIMERA PARTE: “CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO”
- SEGUNDA PARTE: “VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”
- TERCERA PARTE: “DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”

A continuación se detalla el objetivo general y el alcance general del informe de Auditoría Técnica LM-AT-55-11.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 11 de 73
------------------------------	--	-----------------



4.1 Objetivo general del informe

Realizar una evaluación de la gestión técnica en lo referente a los procesos de conceptualización del proyecto, diseño, proceso constructivo, control de calidad de los materiales incorporados y el desempeño de la rehabilitación del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.

4.2 Alcance general del informe

El alcance de esta Auditoría Técnica abarcó el análisis de la gestión técnica del proyecto en cuanto a la verificación de los estudios preliminares que dieron origen a la solución propuesta, revisión del diseño planteado, control de calidad de los materiales incorporados así como mediciones complementarias para evaluar el desempeño de la losa de rejilla metálica del puente en servicio. Dado que el presente informe es el producto de un procedimiento de Auditoría Técnica, desarrollado en el marco de las competencias asignadas en el artículo 6 de la Ley 8114 al LanammeUCR, se establece fuera de su alcance la realización de inspecciones o evaluaciones conducentes a determinar la condición de conservación actual del puente así como el análisis estructural global de la estructura que contemple la modelación estructural o evaluación de capacidad sísmica del puente. Además no se realizó una auscultación de la condición existente de la subestructura (pilas, bastiones y sus respectivas cimentaciones), ni de la superestructura del puente (tipo armadura). Se considera que estas labores son actividades propias de la Administración y que para su ejecución efectiva, deben formar parte de un plan de rehabilitación completo, suficiente y competente, que incluya los recursos necesarios para tales fines.

El informe de Auditoría Técnica es un insumo para la Administración, el cual se puede utilizar para implementar acciones que encaminen al mejoramiento, desde el punto de vista técnico ingenieril, de la planificación en la generación de proyectos, elaboración de diseños y estudios básicos, así como los respectivos procedimientos de contratación empleados para el desarrollo de obras viales y que a la vez faciliten el señalamiento, por parte de la Administración, de las responsabilidades correspondientes ante posibles incumplimientos y/o deficiencias señaladas en el presente informe.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 12 de 73
------------------------------	--	-----------------



5. INFORME PRIMERA PARTE: “CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO”

El presente informe atañe a la PRIMERA PARTE, relacionada con la conceptualización del proyecto de intervención de la losa del puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional N°1.

5.1 Objetivo general

El presente informe tiene como objetivo realizar una evaluación de la gestión técnica realizada por la Administración MOPT-CONAVI en lo referente a los procesos de conceptualización y diseño del proyecto del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.

5.2 Objetivos específicos

1. Evaluar desde el punto de vista de planificación, la decisión de intervención de la sustitución de la losa del puente.
2. Evaluar la calidad del desarrollo de los procedimientos de contratación tanto para la compra como para la instalación de la rejilla metálica.
3. Evaluar la calidad de los estudios preliminares previos a la definición de la solución de intervención mediante la sustitución de la losa del puente.
4. Evaluar el análisis estructural realizado para la intervención de lo losa sobre el Río Virilla.

5.3 Alcance específico

Análisis de la gestión técnica del proyecto en cuanto a la evaluación del desarrollo de los procedimientos de contratación tanto para la compra como la instalación de la rejilla metálica, verificación de los estudios preliminares que dieron origen a la solución propuesta y revisión del diseño estructural planteado

6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

6.1 Información General

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 13 de 73
------------------------------	--	-----------------



Esta intervención consistió en dos etapas claramente establecidas, iniciando con el proceso de licitación para la compra de las unidades de rejillas metálicas y la posterior contratación directa para la demolición de la losa existente e instalación del sistema de rejillas metálicas.

La rejilla metálica se adquirió del fabricante de rejillas LB Foster, mediante el proveedor Corpac Steel Products, Corp., seleccionado durante el proceso de licitación de compra promovido por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del CONAVI.

En tanto, la empresa Soares da Costa fue la adjudicataria del proceso de contratación directa para la instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el río Virilla. Esta empresa contrató a la Cementera CEMEX para suplir el concreto requerido para este proyecto. Las actividades de colado del concreto se realizaron en dos sitios, el concreto colado para el relleno de las rejillas metálicas a media altura se realizó en el plantel de CEMEX, mientras que el colado de las juntas perimetrales de las uniones de las rejillas metálicas se llevó a cabo en el sitio de obra.

La actividad de supervisión durante la etapa de demolición de la losa, construcción e instalación del sistema de rejillas, le correspondió a la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes del CONAVI, quien contó con el apoyo del Laboratorio de Geotecnia y Materiales del MOPT, el Laboratorio del MOPT, sede San Ramón y la Departamento de Calidad adscrito a dicha gerencia, para la realización de los ensayos al concreto.

Por su parte, la empresa Soares da Costa, contó con los servicios del Laboratorio de CACISA para ejecutar las actividades de control de calidad durante la etapa constructiva. Mientras que la empresa productora CEMEX realizó su propio proceso de control de calidad del concreto fabricado y despachado a ambos sitios de colado.

El proceso de colocación de las rejillas se desarrolló en 4 etapas, abarcando inicialmente los carriles internos en cada uno de los sentidos San José-Alajuela, Alajuela-San José y finalizando con la colocación de los carriles externos y acera de paso peatonal. Cabe indicar que conforme cada una de las etapas se concluía, era inmediatamente puesta en servicio para la circulación del tránsito. Una vez abierto al público, en un lapso de 7 días se evidenció un proceso de deterioro acelerado en el concreto colado en las rejillas a media altura, el cual fue reportado a través de los medios de comunicación y el cual es el motivo de la elaboración del actual informe.



6.2 Alcance del proyecto

De acuerdo con el cartel de licitación para la compra de la rejilla metálica, se adquirieron para sustitución de la losa 272 rejillas metálicas de 2,43m x 3,66m y 136 rejillas de 2,43m x 2,43m. Adicionalmente, se compraron 68 rejillas de 2,43m x 2,62m, las cuales serían utilizadas para el carril provisional planteado en la programación constructiva. Estas rejillas finalmente no fueron empleadas en la fase constructiva de la sustitución de la losa, tal como se había planificado.

En cuanto a la instalación de la rejilla metálica para la rehabilitación de este puente, el cartel de licitación definió las siguientes actividades:

- a. Control de tránsito en el puente 24 horas durante el período de intervención de la losa.
- b. Prefabricación de rejillas y de barandas definitivas en planta.
- c. Demolición de losa existente.
- d. Conexiones entre vigas de piso-rejillas.
- e. Instalación de rejillas y colado de las juntas perimetrales entre las mismas e instalación de 5 juntas de expansión.
- f. Acabados: instalación de barandas definitivas, las vehiculares serán de elementos prefabricados de concreto tipo New Jersey y las peatonales prefabricadas serán de acero estructural pintadas acorde con especificaciones AASHTO. Señalamiento horizontal.
- g. Apertura al tránsito.

Con relación a los roles ejercidos por cada una de las partes involucradas en el proyecto, se determina que el proceso de compra de rejillas y supervisión de la construcción estuvo a cargo del CONAVI; la elaboración del diseño y los planos constructivos del puente fueron responsabilidad de la Dirección de Puentes del MOPT. El suministro de todos los materiales, equipo, mano de obra y actividades constructivas necesarias para la realización de los trabajos de rehabilitación de la losa serían cubiertos por el contratista.

7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR

- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng. (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas);
- Ing. Mauricio Salas Chaves (Auditor Técnico)
- Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Raquel Arriola Guzmán (Auditora Técnica);
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc, (Auditora Técnica);

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 15 de 73
------------------------------	--	-----------------



- Ing. Ana Hidalgo Arroyo (Auditora Técnica);
- Ing. Sandra Solórzano Murillo (Auditora Técnica);
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)
- Ing. Guillermo Santana Barboza, PhD, (Experto Técnico)
- Ing. Ana Monge Sandí, MSc, (Experta Técnica)
- Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD, (Experto Técnico)

8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Entre las limitantes que se presentaron en este estudio de auditoría, se encuentra que para realizar una evaluación integral de la condición existente del puente se requerían efectuar mediciones e inspecciones en sitios específicos del puente donde el acceso era difícil, lo cual ameritaba un despliegue considerable de recursos y tiempo, por lo cual dicha mediciones únicamente se limitaron a aquellas zonas donde el acceso era factible.

Además se debe considerar que la información analizada correspondió a los documentos aportados por los auditados así como aquella información que se tuvo a la vista durante la recopilación de la documentación en los diferentes despachos visitados por el equipo auditor. Por otra parte la Administración remitió de manera tardía parte de la información requerida, razón por la que se tuvieron que enviar diversos recordatorios para la adquisición de la misma

9. INTRODUCCIÓN

De previo a referirse a los hallazgos y observaciones relacionadas con el tema de conceptualización del proyecto de intervención de la losa del puente sobre el río Virilla, esta Auditoría Técnica considera relevante comentar los siguientes temas por considerar que representan un marco de referencia importante dentro del cual se puede ubicar el proyecto en mención.

9.1 Sistema Administración Puentes

En el ámbito de las carreteras, la administración de activos (bienes) se puede definir como un marco de procesos y decisiones que se da en un período extendido de análisis (usualmente el periodo es el doble que la vida útil del activo), el cual involucra la teoría y práctica de economía e ingeniería, y considera todos los activos de la carretera. Este enfoque realiza análisis económicos entre diferentes

alternativas de inversión tanto a nivel de red (el nivel de información e inventarios viales es general, analiza redes de carreteras) como a nivel de proyecto (nivel de información es más detallado, analiza proyectos específicos). Con estos resultados, las agencias de transportes pueden tomar decisiones que sean rentables¹.

A continuación se presenta la Figura 2 que expone de una forma gráfica los requerimientos en la cantidad y calidad de la información determinados por el tipo de proyecto que se tenga.

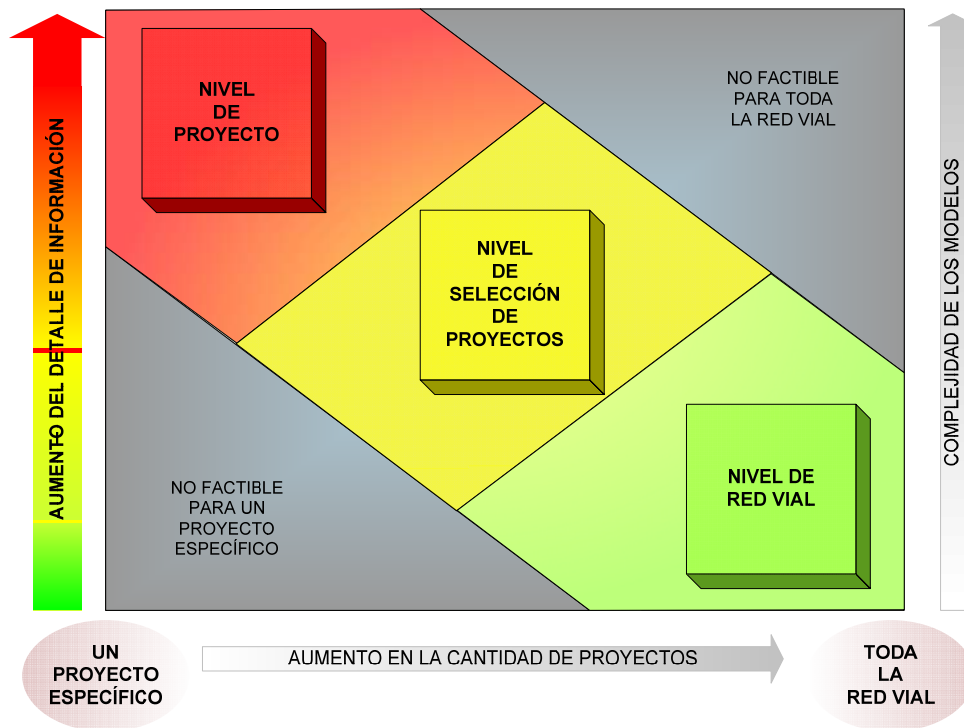


Figura 2: Tipo y calidad de la información requerida dependiendo de la complejidad del proyecto².

Fuente: Traducción de Modern Pavement Management, Malabar Florida, 2004.

De dicha figura se extrae:

Nivel de proyecto: Las intervenciones que se encuentran a "nivel de proyecto" deben de hacer frente a problemas técnicos específicos, como lo es la toma de decisiones de diseño detallado para un proyecto individual. Para esto se requiere contar con información detallada sobre los componentes del proyecto, como se muestra en la parte superior izquierda de la figura.

¹ Chaverri J, Madrigal D. Modelos de optimización lineal para realizar planes de inversión de largo plazo, 2009

² Modern Pavement Management, Malabar Florida, 2004.



Nivel de red: El nivel de red consiste en la toma de decisiones políticas respecto a la rehabilitación o el mantenimiento de la red en su totalidad. En este nivel, la asignación de los presupuestos es la principal preocupación, y los modelos deben ser diseñados para optimizar el uso de los recursos asignados a la rehabilitación y mantenimiento de la red. La intervención debe tener en cuenta el estado o condición de los elementos que la conforman, en términos de utilidad, con el fin de hacer esto, los datos necesarios para determinar el estado actual de la red en su conjunto, para evaluar los efectos de los diferentes tipos de técnicas de rehabilitación y de mantenimiento que se puedan aplicar³.

Obsérvese en la figura que el nivel de detalle de la información depende en el nivel en que se esté trabajando (nivel de red o nivel de proyecto). A un nivel de red, la información es muy general, dado que se realiza para un número de proyectos y hasta para toda la red vial; en donde el levantamiento de esta información tiene como propósito realizar una evaluación de la condición del activo (en este caso, puentes) para poder diagnosticar el estado de la red. El uso de esta información no es factible para un proyecto específico debido a su alcance.

Por otro lado, una vez que se identifica un proyecto específico a intervenir, el detalle de información requerido en cuanto a inventarios y estudios es detallado, todo con el propósito de ejecutar la etapa de diseño (nivel de proyecto).

El sistema de administración de puentes es un componente del sistema de administración de carreteras. La administración de puentes tiene tres objetivos⁴: seguridad, serviciabilidad y sostenibilidad.

La seguridad es el componente más importante de todos, el cual significa que el puente no puede estar sujeto al colapso inminente (gestión del riesgo) y a ocasionar lesiones a los usuarios. En la administración de puentes, todas las actividades deben ser planeadas de manera tal que minimicen el riesgo y lesiones a los usuarios, trabajadores y la propiedad privada. Serviciabilidad significa que la estructura del puente está en condiciones aptas para ser transitado. Finalmente, sostenibilidad significa en que la estructura debe tener una vida útil por lo menos a la que fue diseñada. Estos tres factores son realizables aplicando los principios de administración de carreteras.

³ Modern Pavement Management, Malabar Florida, 2004.

⁴ Transportation Association of Canada. Guide to Bridge Management, 2004



Aspectos fundamentales de una gestión de carreteras es mantener un inventario de los activos. En el caso de los puentes, debe conocerse su ubicación geográfica y sus características. Las estructuras se deben monitorear para evaluar las deficiencias o deterioros existentes para implementar procedimientos de intervención antes que esos deterioros se agraven y alcancen una severidad mayor.

En el año 2005, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA por sus siglas en inglés “Japanese International Cooperation Agency”) colaboró con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Costa Rica y se creó una metodología para establecer el Sistema de Administración de Puentes. Esta consultoría fue efectuada por dieciocho (18) japoneses que visitaron el país en un periodo de dos (2) años⁵. A la fecha y cuatro años después de entregar los estudios en el 2007, esta metodología (aspecto tecnológico) aún no se ha implementado y su ejecución se encuentra en riesgo como consecuencia de las debilidades a nivel organizacional y de recurso humano. Más allá de su implementación, aún no se ha definido las funciones de los departamentos del MOPT y del CONAVI y su interrelación con respecto a la administración de los puentes.

Es importante destacar dentro del contexto de la intervención realizada en el puente sobre el río Virilla, lo indicado en el estudio realizado por JICA en el año 2007⁶, en cuanto a que Costa Rica se enfrenta a una situación en la que la mayoría de los 1.330 puentes en las carreteras nacionales (7.775 Km.) sufren de deterioros severos debido al material que ha envejecido. Los trabajos de mantenimiento, insuficientes e inadecuados han acelerado estos daños y han permitido el declive del rendimiento de los puentes en general.

De lo anterior, se deriva que el nivel de deterioro presentado en la losa del puente sobre el río Virilla en el 2009, así como podría ser el caso de otros puentes de la red vial nacional, era una situación previsible, de ahí la importancia de insistir en la necesidad de implementación del sistema de administración de puentes.

9.2 Concesión San Jose-San Ramón

Es importante mencionar que la intervención del puente sobre el río Virilla, estaba considerada en el contrato de concesión de obra con servicio público del “Corredor San José-San Ramón” de Octubre

⁵ Entrevista efectuada al subdirector de Planificación Sectorial del MOPT, Lic. Hernán Vázquez el 2 de Diciembre del 2009.

⁶ Estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica. JICA 2007



del 2004. En el apartado 7.1.5 Obligaciones del Concesionario por tramo, específicamente en el subapartado 7.1.5.1 Autopista General Cañas” establecía:

“... El diseño definitivo debe dotar de dos vías colectoras distribuidoras unidireccionales de dos carriles a la Autopista General Cañas, con su origen antes del puente sobre el río Virilla (7+110), para permitir la ampliación de este puente con estructuras independientes nuevas para los dos sentidos...El diseño que se presenta como referencia propone la construcción de 4 vanos... con una tipología proyectada de puentes de hormigón pretensado de voladizos sucesivos, con sección tipo cajón. El Concesionario debe reforzar y rehabilitar los elementos de la estructura existente del río Virilla, según corresponda, de acuerdo con las Normas y Especificaciones Técnicas definidas en los Proyectos de Ingeniería de este Capítulo”. (el subrayado no es del original)

En el 2009, año en el que inicia la gestión del MOPT-CONAVI ante la Contraloría General de la República para intervenir el puente sobre el río Virilla, mediante oficio 103709 del 27 agosto 2009 emitido por la Ing. María Ramírez en respuesta al oficio DJ-0733 de la División Jurídica de la Contraloría General de la República, como parte de la información para justificar la solicitud de autorización para la contratación directa para la intervención de la losa del puente, en el apartado 2 de dicho oficio “Alcance de intervención en relación con el Contrato de Concesión San José-San Ramón”, señala que en relación con el cartel de esta concesión del año 2004, se estableció que la intervención del puente sobre el Río Virilla incluía las siguientes etapas:

1. *Ampliación del puente sobre el Río Virilla a 8 vías, con la construcción de 2 nuevos puentes de doble vía a cada lado del existente, el cual se mantendría en servicio.*
2. *Rehabilitación del puente existente de 4 vías, después de la construcción de los dos puentes de doble vía, que implica:*
 - a. *Sustitución de losa existente por losa nueva de concreto*
 - b. *Refuerzo de vigas y cerchas de superestructura para cumplir con la variación de carga muerta y la carga viva actual HS20+25%*
 - a) *Refuerzo de pilas y bastiones de la subestructura para cumplir con los factores de seguridad por resistencia y por sismo que exige la normativa de diseño AASHTO vigente.*

Adicionalmente, ante la solicitud de información de la Contraloría General de la República en cuanto a: “Aportar el criterio del concesionario en donde se aclare la relación que tendría el concesionario frente a la pretendida solución técnica del problema presentado en el puente sobre el Río Virilla Ruta Nacional N°1 Autopista General Cañas. En caso de que la contratación implique una modificación del



contrato de concesión deberá indicarse en forma expresa y señalar los alcances de tal decisión". En respuesta a este punto, a través del Consejo de Concesiones, la Sociedad Concesionaria emite el oficio SJSR_DT 10-002-09 de fecha 7 de octubre emitido por el Director Técnico de Autopistas del Valle y dirigido a la Ing. Hadda Muñoz Sibaja, Gerente de Proyecto de la Concesión San José-San Ramón, en donde emite su criterio técnico en cuanto a la solución y sus implicaciones en el desarrollo del contrato de concesión, por lo que expone:

".. en Septiembre del año 2006 esta Sociedad Concesionaria desarrolló un proyecto de ingeniería definitivo que considera todo tipo de intervenciones, entre las que se encuentra reforzar la subestructura, demoler la losa del tablero asegurando la estabilidad de todos los elementos metálicos existentes, rehabilitación y reforzamiento de la cercha metálica principal, eliminación con medios mecánicos de los dispositivos de conexión existentes entre los vanos de acceso, transformación de las vigas isostáticas en los vanos 1 y 2 en vigas continuas, labores de mantenimiento y reforzamiento en general, reconstrucción de la losa asegurando la transformación de un sistema isostático a hiperestático, etc.

La propuesta del CONAVI se refiere exclusivamente a la sustitución de la losa del tablero, la que independientemente de cómo se realice representa una solución temporal a un problema estructural generalizado que manifiesta un puente ubicado en una ruta neurálgica del país, que no presenta una alternativa práctica para sus usuarios.

Si bien la losa del puente es el elemento más visible de una estructura y se comprende la razón del por qué el CONAVI esté recomendando su reparación inmediata no es menos cierto que en este caso el avanzado estado de deterioro de la losa es el reflejo del estado general del puente. Dicho de otro modo, el sustituir la losa no elimina el riesgo del deterioro a corto plazo de la misma. (el subrayado no es del original)

En relación con el método de sustitución de la misma, se debe recalcar que aunque una de las alternativas implica reforzar la cercha metálica y la otra no, en ambas se debe considerar realizar como mínimo un mantenimiento completo de la estructura metálica revisando, reemplazando, readecuando y pintando tanto los perfiles metálicos como los conectores dañados."

En relación con lo expuesto anteriormente, la intervención del puente sobre el río Virilla estaba planteada por la Administración en el contrato de concesión San José-San Ramón, por lo que las etapas de intervención necesarias en el puente eran conocidas. Si bien es cierto se comparte la decisión de la Administración de intervenir por sus propios medios dicho puente ante la incertidumbre del inicio de la concesión, se debió analizar más a fondo desde el punto de vista técnico la solución de



intervención, realizando los estudios necesarios completos y suficientes para aplicar la solución más viable tanto técnica como económicamente.

Por otra parte, aunque la intervención del puente estuviera dentro del contrato de concesión, la Administración es responsable de contar con la información del estado de los puentes que forman parte del patrimonio vial y de las decisiones que se tomen en cuanto a intervenciones a realizar en dicho patrimonio.

Cabe recalcar que en el artículo 16 de la Ley de Concesión de Obras Públicas, establece la obligación de la Administración de fiscalizar la obra dada en concesión. Por lo que pese a estar el puente sobre el Río Virilla en un proyecto en concesión, no exime a la Administración de responsabilidad sobre éste.

"ARTÍCULO 16.- Obligaciones

Son obligaciones de la Administración concedente:

a) Fiscalizar, permanentemente, toda construcción y explotación de obras y servicios concesionados, de acuerdo con el programa de construcción y mantenimiento de las obras o el reglamento del servicio, de conformidad con el cartel de licitación y el contrato de concesión."

9.3 Informe LanammeUCR 2006: "Evaluación Preliminar Proyecto San José - San Ramón Programa de Trabajo 2006"

Como parte de las tareas asignadas al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la UCR en la Ley No 8114, Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias, detalladas en el artículo 6, se recalca: "d) *Evaluación anual de las carreteras y puentes en concesión.*" Atendiendo esta asignación en el año 2006 en el LanammeUCR se inició con un programa de estudio relacionado con los puentes ubicados en las líneas de concesiones propuestas por la Administración, a saber San José-San Ramón y San José-Caldera. En dicho momento se decide iniciar con el proyecto sobre la Ruta Nacional N°1 (San José-San Ramón) dado que se pretendía por parte de la Administración que este proyecto iniciara primero.

Como se indica textualmente en dicho informe, el objetivo es: "*El objetivo del inventario preliminar es el de servir como un punto de partida para la recopilación de la información en una forma ordenada. La información se recopila a partir de inventarios existentes en los diferentes departamentos gubernamentales, formas de inventarios llenas por los ingenieros de zonas, entrevistas con los*

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 22 de 73
------------------------------	--	-----------------



ingenieros residentes de proyectos, revisión de planos con especificaciones y memorias de cálculo, revisión de mapas y listas de carreteras.”

Cabe recalcar que el inventario y evaluación descritos en el informe del LanammeUCR en el año 2006, tenía como alcance realizar un inventario preliminar para efectuar una evaluación de los puentes en concesión de la ruta San José-San Ramón. Esta evaluación fue de carácter preliminar y se ubica en el marco de nivel de red, que como se mencionó en el punto 9.1, el nivel de información e inventarios viales es general y se analizan redes de carreteras, a diferencia de lo que requiere una evaluación a nivel de proyecto, en el que el nivel de información es más detallado con el propósito de elaborar los diseños y se analiza proyectos específicos. El propósito de este informe pretendía además, brindar información útil y oportuna a la Administración y de esa forma alertar acerca de las condiciones de conservación generales de los 13 puentes evaluados sobre la ruta concesionada, que debían ser estudiados con un mayor detalle. Entre dichos puentes se encontraba el puente sobre el río Virilla en la ruta N°1.

Para determinar el estado de conservación de cada una de las estructuras estudiadas, en el 2006 se realizaron cuatro visitas de inspección visual a los diferentes sitios donde se localizan las diferentes estructuras. En total se estudiaron 13 puentes sobre la ruta concesionada.

El objetivo de estas visitas era establecer cuál era el estado existente de conservación de los 13 puentes estudiados sobre la ruta concesionada, posteriormente, a partir del estado de los diferentes componentes estructurales de cada puente, establecer con mayor certeza el coeficiente para la resistencia remanente que refleja de mejor manera la condición existente del puente.

En general la clasificación del nivel de seguridad o F.S obtenida como resultado de la evaluación realizada por el LanammeUCR en el 2006, es un parámetro cuantitativo que define una condición cualitativa, con el propósito de que sirviera como insumo a la Administración para realizar un análisis de prioridades integral de la situación general de los puentes, considerando todas las variables necesarias, ya que se debe conocer los verdaderos daños de los puentes para así proceder a su atención de manera priorizada.

A partir de lo anterior, es relevante destacar que la definición de la solución a aplicar en el puente sobre el río Virilla, requería por parte de la Administración, la realización o contratación de estudios más detallados y actualizados al 2009, momento en que se decide intervenir el puente.



10. 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 un hecho que hace referencia a una normativa o bien, a algún documento contractual; ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, las observaciones 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. 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.

Es importante aclarar que la toma de muestras o mediciones realizadas en el proyecto por parte de la Auditoría Técnica, no pretende ser control ni verificación de calidad y que tampoco le compete realizar evaluaciones a nivel de proyecto que son de competencia propia de la Administración.

La Auditoría Técnica es un mecanismo externo e independiente cuyo fin es determinar si la inversión se está realizando eficientemente, así como un mecanismo para la propia Administración de obtener insumos de mejora en futuros proyectos viales.

Las fotografías que muestran las condiciones que se incluirán en el informe, corresponden al día de la visita, estas condiciones pueden variar en el tiempo debido a la evolución del deterioro que el proyecto presente o incluso a acciones y/o reparaciones efectuadas a posteriori en el proyecto.

10.1 Sobre la conceptualización del proyecto

A partir del 15 de abril de 2009, de acuerdo con la información divulgada en los medios de comunicación, inicia ante la luz pública el conocimiento de los deterioros identificados en una de las juntas de expansión del puente sobre el río Virilla en la ruta N°1, la cual fue reparada por el CONAVI

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 24 de 73
------------------------------	--	-----------------



en varias ocasiones (16 abril, 22 junio, 15 julio y 19 julio 2009, 2 agosto entre otras) sin que éstas tuvieran la efectividad que se esperaba.

De acuerdo con el acta de la Sesión Ordinaria No. 680-09 del Consejo de Administración del CONAVI del 23 de julio del 2009, el Ing. Alejandro Molina, entonces Director de Conservación Vial, comenta que el problema se está presentando en la losa de concreto del puente, por lo que por unanimidad deciden, mediante acuerdo firme, solicitar al señor Viceministro de Obras Públicas, Dr. Pedro Castro Fernández, que requiera un informe técnico a la Ing. María Ramírez, Directora de la Dirección de Puentes del MOPT, sobre la condición de la losa de concreto del puente sobre el río Virilla y que realice una propuesta de solución.

En agosto del 2009, entre los aspectos técnicos que señala la Ing. María Ramírez González en diversos documentos en donde presenta su criterio, indica que el puente existente fue diseñado en el año 1960 con ciertas características y posteriormente al revisar el diseño con las especificaciones de diseño en el año 2009, determina que al verificar la capacidad de la losa en el tramo de 76 m existe un déficit de acero en la losa del 95%. Debido a este déficit en la cuantía de acero se presenta el mecanismo de deterioro típico de fatiga, que al excederse los esfuerzos admisibles en la tensión del concreto aparecen las fisuras en una dirección, seguidas de fisuras en ambas direcciones, eflorescencias que demuestran que la grieta atraviesa el peralte de la losa y posteriormente el desprendimiento del concreto generando aberturas en la losa.

Finalmente, la recomendación de la Ing. María Ramírez, Directora de la Dirección de Puentes del MOPT es el considerar como alternativa el uso de un piso mixto de rejilla de acero con concreto que tiene la ventaja de reducción del peso propio que permite el incremento de la capacidad de carga viva sin refuerzo adicional en vigas y cerchas.

El 30 de setiembre del 2009 la Contraloría General de la República otorgó la autorización al MOPT-CONAVI para llevar a cabo la contratación directa para atender el problema presentado en el puente sobre el río Virilla en la Ruta N°1, el cual finalmente se ejecutó vía dos procedimientos de contratación, mediante licitación pública para la compra y contratación directa para la instalación de la rejilla metálica.

A continuación se describen hallazgos relacionados con debilidades detectadas en la conceptualización del proyecto de intervención de la losa del puente sobre el río Virilla.



HALLAZGO 1: Las reparaciones a la junta de expansión y la intervención de la sustitución de la losa del puente fueron atendidas como imprevisibilidad y urgencia, respectivamente; sin embargo, su origen es consecuencia de las debilidades en planificación a corto, mediano y largo plazo y de la falta de aplicación del Sistema de Administración de Puentes.

El problema de la junta de expansión y las respectivas reparaciones del puente sobre el río Virilla, Ruta N°1, fue atendido por el CONAVI bajo la figura de imprevisibilidad, tal como lo indicó el entonces Director de Conservación Vial, Ing. Benjamín Sandino González en oficio DCV 01-4442-2009 de fecha de 31 julio de 2009, que de acuerdo con el Manual de Políticas Operativas y Procedimientos de la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, Sección A. Políticas Operativas 03. Contrataciones para enfrentar situaciones imprevisibles, indica que se considerará un evento como imprevisible cuando:

- i. *“No está contemplado dentro de las actividades planificadas por la Dirección de Conservación Vial (Gerencia de Conservación de Vías y Puentes) durante determinado período.*
- ii. *Cuando el evento, producido por hechos de la naturaleza o caso fortuito de carácter imprevisible, produzca daños a la infraestructura vial (sea esta de asfalto, concreto o lastre) o afecte gravemente un puente, una alcantarilla, etc., en una ruta nacional; y que se interrumpa el paso y no exista en ese momento ruta alterna.*
- iii. *Se vea amenazada la integridad física y emocional de los ciudadanos que requieran transitar por la ruta, al no contar con acceso al libre tránsito para la atención de sus necesidades de salud, alimento, seguridad o bien, una vez atendidos requieran llevar a cabo sus actividades normales (como ir a su trabajo, enviar a sus hijos a la escuela, etc.)*
- iv. *Las poblaciones cercanas al evento se encuentren en peligro o incomunicados.”*

A raíz de la falla de la placa metálica soldada para cubrir la junta de expansión, ocurrida el 23 de julio 2009, según Acta de la Sesión Ordinaria No. 680-09, celebrada por el Consejo de Administración del Consejo Nacional de Vialidad, ese mismo día (23 de julio del 2009), los miembros del Consejo comentan sobre la situación presentada en la platina del puente sobre el río Virilla. El Ing. Molina comenta que el problema se está presentando en la losa de concreto del puente, por lo que por unanimidad deciden, mediante acuerdo firme, solicitar al señor Viceministro de Obras Públicas, Dr. Pedro Castro Fernández, que requiera un informe técnico a la Ing. María Ramírez, Directora de la Dirección de Puentes del MOPT, sobre la condición de la losa de concreto del puente sobre el río Virilla y que realice una propuesta de solución. (El subrayado no es del original)



Posteriormente en Sesión Ordinaria No. 683-09 del día 04 de agosto del 2009, la Ing. María Ramírez González procede a referirse a la situación presentada en la losa del puente existente sobre el río Virilla en la Autopista General Cañas y expone, en resumen, los siguientes puntos:

- a) Este puente fue diseñado con especificaciones AASHO en 1957 para una carga viva H 15-S12-1944 equivalente a un tractocamión de tres ejes de 24 toneladas, con un peso por eje de llantas de 5.44 toneladas, falló la junta de expansión instalada según el diseño de 1960 debido a que se excedió la vida útil (20 años)
- b) La junta de expansión, que fue reparada exitosamente, no presenta ningún problema estructural y por lo tanto es segura para la libre circulación de los vehículos porque cumple con la carga viva actual de HS20+25% equivalente a un tractocamión de tres ejes con peso total de 40.8 toneladas y una carga puntual de llanta de 9.07 toneladas.
- c) Verifica la capacidad de la losa en el tramo de 76 m considerando carga viva HS 20+25% equivalente a tracto camión de 3 ejes de 40.819 ton y se obtiene que hay un déficit de acero en la losa del 95%, por fisuramiento de la losa por fatiga.
- d) Presenta la propuesta de solución al problema de la losa: piso mixto de rejilla de acero rellena a media altura.

Por tanto el Consejo de Administración del CONAVI en respuesta a la recomendación técnica de la Dirección de Puentes, mediante acuerdo firme dispuso y giró instrucción a la Dirección Ejecutiva del CONAVI para preparar y enviar la solicitud ante la CGR, con el fin de procurar y obtener la autorización necesaria para atender el proyecto a través de una contratación directa concursada.

Es así como en el oficio 103709 del 27 de agosto del 2009 emitido por la Ing. María Ramírez en respuesta al oficio DJ-0733 de la División Jurídica de la Contraloría General de la República, señala:

“Por tal condición resulta urgente tomar acciones para la intervención de la losa del puente existente sobre el río Virilla dado que ya se inició la fase de desprendimiento de porciones de losa que demandan continuas sustituciones de tramos de losa entre las vigas de piso las cuales por su ubicación no permiten reparaciones por carril e implican cierres continuos de la calzada de doble vía con subsecuente trastorno vial al usuario.” (El destacado no es del original)

Adicionalmente, asociado al carácter de urgencia dado por el MOPT-CONAVI, en Sesión N° 736-10 del Consejo de Administración del CONAVI, del 16 de marzo 2010 el Dr. Pedro Castro manifiesta que: “... es urgente llevar a cabo la contratación para la reparación de la losa del puente sobre el río Virilla, en la Ruta No.1, sin embargo en virtud de la necesidad de acreditar una solución al conflicto que

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 27 de 73
------------------------------	--	-----------------



existe por cuanto la rehabilitación de dicha estructura es parte del contrato suscrito con la concesionaria del tramo San José – San Ramón, a la fecha no se ha llevado a cabo la contratación. Y con el fin de prevenir que suceda algún accidente, solicita al Ing. Molina y a la Licda. Trejos que resuelvan a la brevedad lo que corresponda. Adicionalmente recuerda que la vida útil de la losa del puente, de acuerdo con el criterio de la Dirección de Puentes del MOPT, es de poco más de un año, de manera que es de anticipar una serie de problemas como falla de juntas y formación de baches en la superficie de ruedo, con consecuentes elevados costos de operación del usuario por congestión vial y accidentes”. (Lo destacado no es del original)

Analizando los aspectos mencionados sobre el puente sobre el río Virilla en cuanto a que la junta de expansión instalada según diseño del 1960 falló debido a que excedió su vida útil (20 años), que la losa de concreto presentó el mecanismo de deterioro típico por fatiga debido al déficit de acero y que la vida útil de la losa del puente era de poco más de un año, según lo indicado por el MOPT-CONAVI, estas situaciones se pudieron prever con antelación. Es claro que el problema evidenciado en el puente sobre el río Virilla, si bien es cierto se manifestó repentinamente en la falla de la platina, era un problema que se podía prever con igual anticipación ante los indicios de deterioro, aunado al periodo de servicio del puente.

Por lo tanto esta Auditoría Técnica es del criterio de que el término imprevisibilidad y urgencia de los eventos en el puente sobre el río Virilla no es compartido. Este hecho en contraste con la duración de los dos concursos tanto de la compra como el de la instalación de la rejilla (que se detallará más adelante), que superó los 8 meses que pretendían evitar con la autorización de la contratación directa dado el carácter de urgencia que significaba para el MOPT-CONAVI, pone de manifiesto la necesidad de planificación con base en información integral a partir de un Sistema de Administración de Puentes, que permita dar mantenimiento y rehabilitaciones oportunas y efectivas a las estructuras de puentes en el país.

Lo anterior se refuerza con lo plasmado en el informe elaborado por la Contraloría General de la República, informe DFOE-OP-IF-12-2010 “Informe sobre los resultados del estudio relacionado con la Gestión de Administración de Puentes del MOPT” en donde se señala:

“En las actas del CONAVI predomina la atención de necesidades en los puentes bajo las figuras de urgencia, premura, emergencia, imprevisibilidad o intervención inmediata. Lo anterior hace que se tenga que recurrir con frecuencia a acciones de contingencia, a modificaciones presupuestarias, a procesos abreviados de contratación o a solicitar la



autorización de la CGR para efectuar contrataciones directas o contrataciones por excepción. Con ello se evidencia la inefectiva planificación interna en materia de puentes”.

Señala además en el apartado 3. Conclusiones:

“No existe planificación en el MOPT-CONAVI para el mantenimiento periódico y rutinario que permita lograr una gestión de administración de puentes de forma integral y por lo tanto, la asignación presupuestaria no ha sido adecuada en el MOPT-CONAVI para acometer la rehabilitación y el mantenimiento de los puentes de la red vial nacional de forma efectiva y eficiente.”

El no contar con un Sistema de Administración de Puentes trae como consecuencia que las decisiones técnicas de mantenimiento y rehabilitación de puentes, como la del puente sobre el río Virilla, se lleven a cabo mediante procesos precipitados que al darles el carácter de urgencia, las decisiones se toman en función de lo que signifique menor plazo de ejecución y por tanto, se omite la ejecución de las respectivas etapas de un proyecto, así como la generación y soporte en información básica actualizada como inventarios, inspecciones, evaluaciones que permitan seleccionar la alternativa óptima, elaborar los diseños necesarios y realizar las respectivas revisiones antes de ser ejecutada la solución.

HALLAZGO 2: Durante el desarrollo de los procedimientos de contratación tanto para la compra como para la instalación de la rejilla metálica, se evidenció falta de planificación, falta de suficiente experiencia y claridad, por parte de los involucrados en la formulación de los requisitos generales y específicos del proyecto, lo cual incidió en el tiempo de respuesta de atención del proyecto, a pesar del carácter de urgencia declarado por el MOPT-CONAVI.

Durante los procedimientos de contratación se presentaron factores que afectaron el avance tanto del procedimiento licitatorio y de la contratación directa para atender la urgencia definida por el MOPT-CONAVI, así como factores que reflejaron falta de claridad y experiencia en la definición de los términos de referencia, tales como:

1. Cambio en el tipo de procedimiento de contratación para la compra de la rejilla metálica
2. Solicitudes recurrentes de información para elaborar los términos de referencia de ambas contrataciones: suministro e instalación de la rejilla
3. Cambio en la cantidad de rejillas a comprar
4. Cambio en las dimensiones de las rejillas



5. Consideración del sistema de conexión entre rejillas como compensación por la reducción de peso de las rejillas
6. Cambio al programa de trabajo de la instalación de la rejilla
7. Solución provisional versus definitiva
8. Alcance de la intervención propuesta 2009 versus 2011

De acuerdo con la Ley de Contratación Administrativa, en el artículo 42 “Estructura mínima”, establece que el procedimiento de licitación pública se desarrollará reglamentariamente, y se respetarán los siguientes criterios mínimos:

- a) *El cumplimiento de los requisitos previos de la contratación. Para tomar la decisión administrativa de promover el concurso, la administración deberá realizar los estudios suficientes que demuestren que los objetivos del proyecto de contratación serán alcanzados con eficiencia y seguridad razonables.*

Adicionalmente de acuerdo con el Reglamento a la Ley de Contratación Administrativa, artículo 8º “Decisión inicial”, establece que:

“La decisión administrativa que da inicio al procedimiento de contratación será emitida por el Jarca de la Unidad solicitante o por el titular subordinado competente, de conformidad con las disposiciones internas de cada institución. Esta decisión se adoptará una vez que la unidad usuaria, en coordinación con las respectivas unidades técnica, legal y financiera, según corresponda, haya acreditado, al menos, lo siguiente:

- b) La descripción del objeto, las especificaciones técnicas y características de los bienes, obras servicios que se requieran, en caso de que puedan existir diferentes opciones técnicas para satisfacer la necesidad, acreditar las razones por las cuales se escoge una determinada solución, así como la indicación de la posibilidad de adjudicar parcialmente de acuerdo a la naturaleza del objeto. La Administración Central de manera obligatoria, facultativamente las demás instituciones del Sector Público, utilizarán el catálogo de mercancías de la Dirección General de Administración de Bienes y Contratación Administrativa del Ministerio de Hacienda.

- e) En las licitaciones públicas, salvo que por la naturaleza del objeto no resulte pertinente, deberá acreditarse la existencia de estudios que demuestren que los objetivos del proyecto de contratación serán alcanzados con una eficiencia y seguridad razonables. Para determinar la eficiencia, se valorará el costo beneficio de modo que se dé la aplicación más conveniente de los recursos asignados. La seguridad razonable será determinada una vez considerados los riesgos



asociados de la contratación, y éstos sean analizados y evaluados para adoptar las medidas pertinentes de administración de riesgos, según lo dispone la Ley General de Control Interno.

f) Indicación expresa de los recursos humanos y materiales de que dispone o llegará a disponer para verificar la correcta ejecución del objeto del contrato. En la etapa de definición de especificaciones técnicas, selección y ejecución contractual deberá participar la unidad usuaria de la Administración que formuló el requerimiento.

A continuación se amplía cada aspecto identificado del 1 al 8:

1. Cambio en el tipo de procedimiento de contratación para la compra de la rejilla metálica

Pese a la solicitud de autorización presentada ante la CGR para llevar a cabo la contratación directa concursada, planteada mediante oficio DE-09-2880 del 10 de agosto de 2009, que de acuerdo con lo planteado por el CONAVI, *“se pretendía la contratación por la vía más expedita de un proveedor para el suministro de rejilla metálica, resultando inconveniente realizarla mediante los procedimientos ordinarios, por cuanto el tiempo promedio que tardaría la realización de un procedimiento de licitación pública, el cual puede tardar más de ocho meses- implicaría exponer la estructura del puente a daños mayores que los que actualmente presenta”*, dicha compra se realizó vía licitación pública y con el siguiente impacto en cuanto al tiempo de respuesta:

- a. A partir de la autorización de la CGR para llevar a cabo la contratación directa (30 septiembre 2009), hasta el arranque de la preparación de los términos del cartel (25 febrero 2010) transcurrieron 5 meses
- b. Del arranque de preparación del cartel al refrendo del contrato para la compra de la rejilla (1° noviembre 2009), transcurrieron 8 meses

Es decir, aun con la autorización de la CGR para el trámite expedito vía contratación directa, el proceso para la compra de la rejilla metálica se hizo por licitación pública y demoró en total 13 meses, más tiempo del que CONAVI pretendía, pese al carácter de urgencia que tenía realizar la intervención al puente.

De acuerdo con la Tabla 1 y en resumen, se puede observar que para la licitación pública 2010LN-000003-0DI00 “Compra de la rejilla” se presentaron dos modificaciones relacionadas con la cantidad y las dimensiones de la rejilla a comprar, debido a la necesidad de variar las fases de instalación de la rejilla de acuerdo con la recomendación de Ingeniería de Tránsito.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 31 de 73
------------------------------	--	-----------------



Tabla 1. Modificaciones presentadas durante el proceso de compra de la rejilla metálica.

FECHA	COMPRA DE LA REJILLA	OBSERVACIONES
11 marzo 2010	Licitación Pública 2010LN-000003-0DI00 Se solicita originalmente: <ul style="list-style-type: none">• 456 u de 13,17cmx1,52mx3,65m• 212 u de 13,17cmx1,52mx2,43m	Términos de referencia según oficio 180.10 del 11 marzo 2010 de la Ing. María Ramírez. Originalmente la sustitución de la losa de concreto suponía la instalación de la rejilla en 6 fases distintas que implicaba el cierre de un carril durante todo el plazo constructivo.
10 agosto 2010 a 30 septiembre 2010	Modificación #1: Se solicita: <ul style="list-style-type: none">• 525 u de 13,17cmx1,52mx3,65m• 212 u de 13,17cmx1,52mx2,43m	Cambio en cantidad de rejillas a comprar: Modificación según oficios 484.10 del 10 agosto 2010 y 592.10 del 30 de septiembre 2010 emitidos por la Ing. María Ramírez. La justificación es considerar la instalación en 8 fases con el fin de mantener en operación 4 vías durante el 70% del plazo constructivo y 3 vías durante el restante 30%, por lo que es necesario iniciar la demolición de la isla central y habilitarla temporalmente con rejillas abiertas que serían posteriormente sustituidas por rejillas rellenas a media altura. Por tanto se solicitan 69 unidades para ser instaladas en la zona de la isla. El 17 de agosto se adjudica esta combinación a CORPAC.
29 septiembre 2010 a 8 octubre 2010	Modificación #2: Se solicita: <ul style="list-style-type: none">• 272 u de 2,43mx3,66m• 136 u de 2,43mx2,43m• 68 u de 2,43mx2,62m• Se incluyen accesorios de anclajes	Cambio en dimensiones de rejillas a comprar: Modificación según oficios 574.10 del 29 septiembre 2010 y 608.10 del 8 octubre 2010 emitidos por la Ing. María Ramírez. <u>Por esta razón y puesto que se modifican las actividades de instalación se anula la contratación directa 2010CD-000113-0DI00.</u>

En cuanto al cartel para la instalación de la rejilla metálica, si bien es cierto se tramitó vía contratación directa, se presentaron inconvenientes que repercutieron en el avance efectivo del proceso:

- Del inicio de la elaboración de los términos de referencia (27 mayo 2010) a la primera anulación de la licitación pública (19 agosto 2010), transcurren 3 meses.
- De la primera versión de los términos de cartel 2010CD-000113-0DI00 (12 agosto 2010) a la anulación del procedimiento debido a cambios sustanciales en el cambio de dimensiones de la rejilla metálica (30 setiembre 2010), transcurrió 1 mes.
- De la segunda versión de los términos del cartel (1° octubre 2010) a la resolución de inicio del procedimiento de contratación (22 octubre 2010), transcurrieron 5 meses.



En la Tabla 2 se muestra un resumen de las principales modificaciones durante el proceso de contratación para la instalación de la rejilla, los cuales incidieron en el tiempo respuesta para atender el puente. En el caso de la contratación directa 2010CD-000128-0DI00, ésta se concretó después de la apertura de dos procesos fallidos.

Tabla 2. Modificaciones presentadas durante el proceso de contratación de la instalación de la rejilla metálica.

FECHA	INSTALACIÓN DE REJILLA	OBSERVACIONES
19 agosto 2010	Licitación Pública 2010LN-000004-0DI00	Se anula el procedimiento de licitación pública. El Consejo de Administración del CONAVI acuerda tramitar el procedimiento para la instalación de la rejilla mediante contratación directa, ya que se contaba con la autorización de la CGR.
12 de agosto 2010 a 30 setiembre 2010	Contratación Directa 2010CD-000113-0DI00	El 12 de agosto 2010 mediante oficio 496.10 la Ing. María Ramírez suministra los términos de referencia, considerando las últimas cantidades (525 y 212 de cada tipo). <u>Este proceso fue anulado debido a los cambios sustanciales a los términos de referencia del cartel de la compra de la rejilla.</u>
1 octubre 2010	Contratación Directa 2010CD-000128-0DI00	Se emiten los términos de referencia por segunda ocasión, según oficio 598.10 del 1 octubre 2010 emitido por la Ing. María Ramírez.
17 diciembre 2010	Se solicita modificación al programa de trabajo por parte de la empresa constructora del contratista	El contratista Soares da Costa propone iniciar con las fases de tres carriles, unificar las fases 4 y 5, 6 y 7 en una sola. Con estos cambios la fase 1 se vuelve innecesaria, por lo que no se utilizarían las rejillas provisionales. Se indica que la ventaja es que se reduce el plazo de intervención del puente de 90 días a 74 días naturales.

2. Solicitudes recurrentes de información para elaborar los términos de referencia de ambas contrataciones: suministro e instalación de la rejilla

Entre las situaciones de atraso, falta de claridad y solicitudes recurrentes para la definición de los términos de referencia del cartel, a partir de la revisión documental se detectaron situaciones como las siguientes:



- a) Por parte de la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes, encargada de elaborar el cartel de licitación y gestionar el concurso de la compra e instalación de la rejilla, se emitieron en el periodo del 25 febrero al 18 junio 2010, 7 (siete) oficios en los que se le solicita reiteradamente a la Dirección de Puentes, información básica para elaborar los términos de referencias, el costo de la rejilla, especificaciones para el sistema de conexión entre rejillas.

Desde el punto de vista de planificación, se observa que desde el 25 de febrero 2010, se inició el intercambio de información con la Dirección de Puentes para solicitar la información necesaria para preparar el cartel para la compra de la rejilla, y que al 18 de mayo se comunicó resolución de inicio R-DIE-070-10, 3 (tres) meses después a pesar de que el MOPT-CONAVI tenía la premura de gestionar urgentemente el procedimiento de contratación porque *“en los medios de comunicación masiva se había informado el inminente inicio de los trabajos”*, según lo indicado en el oficio DII.01-10-0420 del 25 de febrero del 2010 emitido por el Ing. Johnny Barth Ramírez, Director de Ingeniería y dirigido a la Ing. María Ramírez González. El contrato para la compra de la rejilla es refrendado por la Contraloría General de la República el 1° de noviembre del 2010, dándose posteriormente la Orden de Inicio el 15 de diciembre 2010, 10 meses después de iniciar el proceso licitatorio que calificaba para el MOPT-CONAVI como urgencia.

- b) Por parte de la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes, encargada de elaborar el cartel de licitación y gestionar el concurso de la compra e instalación de la rejilla, se emitieron en el periodo del marzo a agosto 2010, 10 (diez) oficios en los que se solicita la intervención tanto a la Director Ejecutivo del CONAVI, Ing. Carlos Acosta Monge, al Viceministro de entonces, Dr. Pedro Castro Fernández como a la Viceministra actual, Ing. María Lorena López Rosales, a efecto de obtener respuesta por parte de la Dirección de Puentes, tanto a las solicitudes de información para la elaboración del cartel (febrero a junio 2010), así como a las aclaraciones a consultas realizadas por los oferentes. En diferentes oficios, la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes plantea además, *el rechazo de cualquier responsabilidad por atrasos, errores, omisiones o imprecisiones en el cartel de ambos procedimientos de contratación*. Por otra parte, en el oficio DII 01-10-1334 del 27 de mayo de 2010 emitido por esa Gerencia y dirigido a la Viceministra María Lorena López Rosales, indica textualmente que: *“La mayoría de las aclaraciones son de aspectos técnicos, que deben ser evacuados por la Ing. Ramírez González, ya que conoce con certeza y claridad las especificaciones de la rejilla metálica a adquirir y de los trabajos de reparación que se deben realizar en el puente.”*



Esta situación confirma la necesidad que tiene el MOPT-CONAVI de fortalecer la estructura y capacitar más personal en el área de puentes, ya que en este caso, el planteamiento y definición de los términos técnicos del cartel de licitación y sus especificaciones para la intervención definida, es decir, la compra e instalación de la rejilla metálica, dependía prácticamente de una sola persona y por tanto, incidió en el avance efectivo del proceso de contratación.

Por otra parte, la emisión reiterada de oficios relacionados con consultas al cartel y una notoria demora en la respuesta de estas solicitudes, evidencia falta de claridad en la definición de los requisitos generales y específicos del proyecto para la compra e instalación de la rejilla metálica, llegando a situaciones de recurrencia en procedimientos infructuosos como los ocurridos tanto durante el proceso de contratación para la compra como el de la instalación de la rejilla, los cuales se indican a continuación:

- Licitación Pública No.2010LN-000003-0DI00 - Compra de la rejilla: Según oficio DII. 01-10-1359 del 18 de junio 2010 emitido por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes y dirigido a Proveeduría del CONAVI, en donde se indica: “Le informo que a la fecha no se ha obtenido respuesta alguna, por lo que sugiero suspender de forma indefinida el plazo establecido para la recepción del objeto contractual, hasta contar con la información solicitada por los posibles oferentes. Lo anterior con la finalidad de evitar la nulidad del proceso, según establece el Reglamento a la Ley de Contratación Administrativa.”
- Contratación Directa 2010CD-000113-0DI00 – Instalación de la rejilla: Según oficio DII-02-10-2185 del 30 de setiembre 2010 emitido por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes y dirigido a Proveeduría del CONAVI, en donde indica: “Con instrucciones de la Inq. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y en virtud que la Inq. María Ramírez González, Directora de Diseño de Puentes del MOPT, ha solicitado hacer cambios sustanciales a los términos de referencia (trabajos a realizar) del concurso indicado en la referencia, le solicito anular la presente contratación y proceder a realizar la comunicación pertinente a los potenciales oferentes que retiraron el cartel.”

Por tanto, la intervención del puente sobre el río Virilla que tenía carácter de urgente, fue gestionada desde agosto del 2009; sin embargo, los retrasos en entrega de información y cambios en los términos de referencia, incidieron en el avance efectivo de los procedimientos de contratación, tanto de la licitación pública para la compra como de la contratación directa para la instalación de la rejilla,



por lo que fue hasta diciembre 2010, que se dio la Orden de Inicio de los trabajos de sustitución de la losa del puente, es decir, más de un año (16 meses) de haber iniciado la gestión de la intervención.

3. Cambio en la cantidad de la de rejilla a comprar

La elaboración del cartel de licitación para la compra había iniciado en marzo 2010 con el envío de los términos de referencia por parte de la Dirección de Puentes (primera versión), sin embargo, el procedimiento para la compra de la rejilla se oficializa el 18 de mayo 2010 por Resolución R-DIE-070-10, mediante la cual, la Dirección Ejecutiva y la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del CONAVI, resuelven el inicio del procedimiento de contratación para la compra de la rejilla. No obstante, dicho cartel nuevamente es replanteado el 10 de agosto de 2010, en donde se propone la necesidad de incrementar el número y tipo de rejillas a ser adquiridas, pasando de una cantidad inicial de 456 a 525 de rejillas de 1.52m por 3.66m y manteniendo la cantidad de 212 de 1.52m por 2.44m, para un total de 737 rejillas.

El cambio en la cantidad de rejillas estuvo asociado a la modificación de las fases de instalación de éstas, originalmente la sustitución de la losa de concreto suponía la instalación de la rejilla en 6 fases distintas que implicaba el cierre de un carril durante todo el plazo constructivo, sin embargo, el 12 de julio 2010 vía correo electrónico, según consta en el expediente aportado por la Dirección de Puentes a esta Auditoría Técnica, Ingeniería de Tránsito le indica a la Ing. María Ramírez González que *“en una de las fases es imposible mantener los cuatro carriles, ya que los anchos efectivos serían muy reducidos y con muy pocas posibilidades de maniobra lo que sería muy peligroso tanto para los conductores como para los trabajadores”*, por lo que sugiere considerar la posibilidad de reordenar las fases de manera que se pudieran mantener siempre cuatro carriles y propone un nuevo orden de fases.

Básicamente esta propuesta implicaba iniciar con la demolición de la isla central y habilitarla temporalmente con rejillas abiertas como carril de circulación, las cuales serían sustituidas por las rejillas rellenas a media altura durante las últimas dos fases, por esta razón, esta variación implicaba la necesidad de cubrir 105 unidades de paneles de piso adicionales de 2,62 m para ser instalados en la zona de la isla.

Este cambio se dio 4 meses después de haber iniciado la elaboración del cartel para la compra de la rejilla, aspecto que refleja que durante el proceso de compra de la rejilla, aun no estaba totalmente

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 36 de 73
------------------------------	--	-----------------



claro el proceso de instalación de estas rejillas y las consideraciones de factibilidad de apertura de los carriles que se iban a mantener en operación durante la instalación.

4. Cambio en las dimensiones de la rejilla metálica

De acuerdo con la revisión documental, posterior al cambio en la cantidad de rejillas a suministrar, el 29 de setiembre 2010 según el oficio 574.10 emitido por la Ing. María Ramírez y dirigido al Ing. Federico Umaña de la empresa CORPAC STEEL, proveedor del sistema de rejilla metálica, a quien ya se le había adjudicado el concurso desde el 17 de agosto del 2010, le solicita “valorar la posibilidad de una eventual reducción del plazo de entrega del objeto de la licitación con base en una propuesta técnicamente equivalente que llevara implícita una reducción en el plazo de producción. Lo anterior debido a que la programación de sustitución de la losa está prevista para el mes de enero de 2011 y era necesario garantizar el suministro de las rejillas para el mes de diciembre de 2010, unido al hecho de que a esa fecha apenas se estaba remitiendo el contrato a la Contraloría General de la República”. En virtud de lo anterior, CORPAC STEEL mediante oficio sin número del 7 de octubre 2010, responde a la consulta planteada, indicando que tras realizar la consulta al fabricante LB Foster, éste indica que la única manera de reducir el tiempo de entrega en unas tres semanas, sería aplicar una rejilla de uso más común en Estados Unidos, que tiene características iguales o superiores a la ofertada. Por tanto, plantea la propuesta sugerida por el fabricante como una mejora al contrato en aras de incrementar la eficiencia y calidad en la etapa constructiva. La propuesta consiste en los siguientes cambios:

- 1) “Variar el ancho de los paneles de 1,52m a 2,43m, este cambio reduciría el número de paneles y sería favorable para el constructor pues en lugar de 737 unidades instalaría tan solo 476 para cubrir la misma área equivalente. Reduciría también el número de conexiones entre rejillas lo cual mejoraría la calidad y eficiencia de la instalación. Dado que existen diferencias entre los tamaños de las alas de las vigas de piso en los tramos de vigas y en el tramo de cercha y que adicionalmente debido al cambio de posición de las barandas vehiculares existirían rejillas izquierdas y derechas, se producirían los paneles de rejillas en siete tipos distintos.
- 2) Suplir rejillas modificadas para el piso temporal en la zona de la isla, estas rejillas serían fabricadas a medida en planta, con este cambio se eliminaría la necesidad del corte por parte del contratista de la instalación y aceleraría la velocidad del montaje.
- 3) Variar espaciamiento de los perfiles principales requerido de 6" a 8" con dos barras suplementarias en lugar de una, porque esta es una solución típica para la carga HS25 que es mayor que la carga solicitada de HS 20+25%, para compensar la reducción del peso de las rejillas, el fabricante está dispuesto a suplir las placas de conexión y los tornillos de las



uniones pernadas, las barras transversales de los empalmes y las formaletas modificadas en las zonas de las barandas.” (el subrayado no es del original)

A raíz de lo anterior, tanto en el oficio 592.10 del 30 de setiembre 2010 como en el 608.10 del 8 de octubre 2010 suscritos por la Ing. María Ramírez González y dirigidos a la Ing. María Lorena López, Viceministra de Infraestructura y al Ing. Carlos Acosta Monge, Director Ejecutivo del CONAV, I informa sobre la conveniencia técnica para la Administración de aceptar la contrapropuesta comunicada por parte de LB. Foster como fabricante de rejillas de acero, textualmente indica:

*“En resumen proponen mantener el precio de la adjudicación, con una reducción del plazo de entrega de tres semanas más el suministro de todos los accesorios de conexión (pernos a cada 20 m en las uniones sobre las vigas de piso y varillas de acero galvanizadas en las juntas de 80 cm entre rejillas en el sentido longitudinal del puente) suplir 272 u de rejillas de 2,43m de ancho por 3,66 de longitud, 136 u de rejillas de 2,43 m de ancho por 2,43 m de longitud y 68 u de rejillas de 2,43 m de ancho por 2,62 m de longitud para un total de 476 rejillas de 13,10 cm de altura con perfiles principales a cada 20 cm con un área de 3.668,94 m² que es apenas un 1,22% menor al área adjudicada pero que se compensa con el hecho de que serían fabricadas a medida en 7 tipos distintos para diferenciar instalación izquierda e instalación derecha (dado que varía la posición de la baranda vehicular) más los accesorios....Considerando la urgencia del Estado en contar con las rejillas en el menor tiempo posible, es criterio de la suscrita que la propuesta es técnicamente equivalente a la adjudicada con la gran ventaja para la Administración que permite una reducción del plazo de entrega en tres semanas más la simplificación de la instalación en campo que a su vez implica una reducción de los costos de ajuste de las rejillas ya no haría el contratista de la instalación. Por lo anteriormente expuesto les solicito valorar la posibilidad de modificar el OBJETO del contrato de la Licitación 2010LN000003-ODI00 de tal manera que en el objeto se indique **272 u de rejillas de 2,43m de ancho por 3,66 de longitud, 136 u de rejillas de 2,43 m de ancho por 2,43 m de longitud y 68 u de rejillas de 2,43 m de ancho por 2,62 m de longitud para un total de 476 rejillas de 13,10 cm de altura con perfiles principales a cada 20 cm más accesorios de conexión con una reducción de tres semanas en el plazo de entrega.**” (lo destacado es del original)*

De lo anterior se colige que lo que motivó el segundo cambio durante el proceso licitatorio en relación a las dimensiones de la rejilla, fue un aspecto de premura en cuanto al plazo disponible, debido a que a setiembre 2010, el contrato de la compra estaba en revisión por parte de la Contraloría General de la República y según la programación, la losa estaba prevista para ser instalada en enero 2011.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 38 de 73
------------------------------	--	-----------------



Consecuentemente a este segundo cambio en las dimensiones de la rejilla, el 30 de setiembre 2010, Proveeduría del CONAVI comunica a los oferentes la anulación de la Contratación Directa 2010CD-000113-0DI00 debido a los cambios sustanciales a los términos de referencia.

En la TERCERA PARTE de este informe, titulado “*Desempeño funcional y estructural del Sistema de Rejilla Metálica utilizada en el Proyecto de Intervención de la Losa del Puente sobre el Río Virilla*”, se amplía este tema en relación con las consecuencias desde el punto de vista técnico, generadas por el cambio en las dimensiones de la rejilla.

5. Consideración del sistema de conexión entre rejillas como compensación por la reducción de peso de las rejillas

Aunado a lo descrito anteriormente, desde el punto de vista de falta de claridad en los términos de referencia de este proyecto, se encuentra el relacionado con el sistema de conexión entre rejillas, del cual no se hacía referencia en la propuesta original de especificaciones cartelarias, sino hasta que se da el cambio en las dimensiones de las rejillas, según lo indicado en los oficios emitidos por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes:

- a) Oficio DII. 01-10-1107 del 26 de mayo 2010 dirigido a la Ing. María Ramírez en el que indica: *“Respetuosamente llamo su atención, respecto a que en estas especificaciones, no se indica nada sobre el sistema de conexión de las rejillas (placas de empalme, pernos, tuercas y otros), situación que –en caso de tratarse de una omisión- podría enmendarse en este momento, previo a la promoción del concurso.”*
- b) Oficio DII-10-10-2270 del 6 de octubre de 2010 emitido por el Ing. Johnny Barth Ramírez y el Sr. Adrián Soto dirigido al Ing. Carlos Acosta Monge, en donde indica: *“Pese a que lo anterior se considera como valor agregado para el proyecto, no se puede obviar que la modificación como tal se refleja en una diferencia en materia prima equivalente a más de 44 (cuarenta y cuatro) mil dólares, que a su vez representa alrededor del 2 (dos) por ciento del monto fijado para compra.*
Aunado a esto, esta Dirección no cuenta con suficiente información técnica sobre los accesorios de anclaje que se están agregando a la oferta original, por cuanto no se puede emitir un criterio económico concluyente sobre su aporte en un estudio costo-beneficio.
Por último, la propuesta original en el cartel no considera el uso de accesorios especiales para el amarre entre las rejillas en el sentido longitudinal, lo cual sugiere que se puede prescindir de dichas piezas para realizar el trabajo de sustitución de losa, y que por lo tanto, valida la



posibilidad de que en lugar de adquirir nuevo material, se puede más bien beneficiar a la Administración con un ahorro en la compra”

Por otra parte, de acuerdo con la revisión documental realizada por esta Auditoría Técnica, se pone de manifiesto que la propuesta original no contemplaba el sistema de conexión, situación que refleja falta de claridad en la formulación de especificaciones y que, producto de las diferentes modificaciones a las condiciones originales del cartel de licitación, se incluyó como compensación de estos cambios. Efectivamente en relación con la diferencia en materia prima equivalente a más de 44 mil dólares, la Dirección de Ingeniería manifiesta en el oficio DII 10-10-2270 del 06 de octubre de 2010, que no se encontró un criterio económico concluyente sobre su aporte en un estudio costo-beneficio, que demostrara que la compensación de los accesorios del sistema de conexión cubría esta diferencia económica.

6. Cambio al programa de trabajo de la instalación de la rejilla

Originalmente el proyecto de sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla se concibió con 6 fases de colocación que implicaban el cierre de un carril durante todo el plazo constructivo, para instalar las 210 unidades de 2,43m y las 420 unidades de 3,66m, considerando una reserva por imprevistos de 2 piezas de 2,43m y 36 unidades de 3,66m.

Sin embargo debido a una recomendación de la DGIT argumentando el resguardo de la seguridad de los usuarios de la vía y los trabajadores, así como, reducir el impacto vial a la ciudadanía se modificó la solución de instalación considerando 8 fases distintas con el fin de mantener en operación 4 vías durante el 70% del plazo constructivo y 3 vías durante el restante 30%, para lograr dicho cometido la Administración consideró necesario demoler la isla central y colocar una rejilla provisional, esta variación implicaba la necesitada de contar con 105 paneles adicionales de 2,62m, pero debido a que se contaba con 36 piezas en reserva solamente era necesaria la compra de 69 unidades adicionales de 3,66m de longitud.

Tras la serie de cambios en las fases de instalación citados anteriormente, se derivó en un cambio en la cantidad de rejillas, con el fin de habilitar la zona de la isla central de forma temporal.

Durante el proceso de instalación la empresa constructora Soares da Costa, mediante el oficio C 201012-140 del 17 de diciembre del 2010 y dirigido al Ing. Álvaro Ulloa Murillo, Director del Proyecto, propuso un nuevo cambio en las fases de instalación, de manera que se redistribuía los



espacios de trabajo y se fusionaban las fases 6 y 7 en una sola fase. Este cambio, si bien es cierto significó para la Administración, una ventaja por implicar una reducción de plazo de 90 días a 74 días naturales, resultó también en la no utilización de las rejillas temporales, ya que la fase 1 se volvía innecesaria.

Desde el punto de vista de planificación y avance efectivo del proceso licitatorio, pone de manifiesto la premura que imperó por parte de la Administración en el desarrollo de la compra e instalación de la rejilla, en la que se tomaron decisiones que no fueron efectivas, óptimas ni oportunas, desde el punto de vista técnico. Lo anterior ejemplificado con la compra adicional de unidades de rejillas temporales tipo G, valoradas en ¢6.736.761,36 (sin considerar otros renglones de pago asociados a la instalación de las rejillas), que posteriormente no fueron necesarias, situación que pudo haberse identificado desde la concepción del proyecto de haber estudiado pausadamente el ordenamiento óptimo de las fases de instalación para el manejo de tránsito y respectivos cierres que debían realizarse.

7. Solución provisional versus definitiva

A partir de la revisión documental realizada por el equipo auditor, se identificó una falta de claridad por parte del MOPT-CONAVI en cuanto al carácter provisional o definitivo de la solución implementada en el puente sobre el río Virilla.

De acuerdo con el oficio GCTT 01-11-0276 del 9 de mayo 2011 emitido por el Ing. Johnny Barth Ramírez, Gerente de Contratación de Vías y Puentes y dirigido a la Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, en donde hace referencia a documentos del expediente del proyecto para respaldar los comentarios y respuestas externados en la entrevista realizada el 26 de abril del 2011, se observa que hubo falta de claridad en cuanto al carácter provisional o definitivo de la intervención sobre el puente del Río Virilla. En la Tabla 3 se resumen los criterios que al respecto se emitieron:

Tabla 3. Resumen oficios que tratan la intervención tanto provisional como definitiva.

Carácter PROVISIONAL	Carácter DEFINITIVO
30/09/09: Oficio 10127 emitido por la CGR, punto 3 de las "Condiciones bajo las cuales se concede la autorización": "... Igualmente será de su responsabilidad las implicaciones que se tengan frente a la contemplada la (sic) ampliación del puente a cuatro carriles de cada sentido que se tiene prevista en el contrato de concesión aludido y la razonabilidad del trabajo a realizar y de su costo, siendo que posteriormente se deberá intervenir	17/08/10: Sesión 771-10 del Consejo de Administración del CONAVI: <u>El Ing. Acosta manifiesta que en virtud de que el tema con el Concesionario se ha complicado, ya que la Ing. Ramírez determinó que la rejilla es definitiva y no provisional y por ello la Concesionara está solicitando las memorias de cálculo, las cuales mientras son remitidas por la Ing. Ramírez y el Concesionario las analizadas, lo cual opina que no se daría antes del mes todo ello, determinó que es</u>
Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011
	Página 41 de 73



<p><u>nuevamente para esos fines.</u></p>	<p>mejor seguir por el procedimiento de la licitación pública ya que definitivamente no ve que a corto plazo se pueda cumplir el requerimiento del Órgano Contralor. El señor Ministro insta a la Administración para que, en razón del interés público involucrado y dada la responsabilidad que lleva este Consejo en la atención de dicha Ruta, <u>aunado a que existe manifiesta evidencia de que la vía podría colapsar insta a la Administración para que proceda con las acciones que correspondan para ejecutar la reparación del puente.</u></p>
<p>07/10/09: Oficio SJ-SR 1549/10-09 dirigido a la Dirección Jurídica del CONAVI, se adjunta el oficio SJSR_DT 10-002-09, emitido por el Director Técnico de Autopistas del Valle, en donde indica: <u>“La propuesta del CONAVI se refiere exclusivamente a la sustitución de la losa del tablero, la que independientemente de cómo se realice representa una solución temporal a un problema estructural generalizado que manifiesta un puente ubicado en una ruta neurálgica del país, que no presenta una alternativa práctica para sus usuarios.</u></p>	<p>19/08/10: Sesión 772-10 del Consejo de Administración: Los señores Directores opinan que involucrar no implica solicitar permiso o anuencia del Concesionario, sino que, lo procedente es comunicar al Consejo Nacional de Concesiones la inversión que el CONAVI va a realizar en la carretera, <u>señalándole además que la solución es definitiva y no temporal</u>, con el propósito de que ese Consejo, lo tome en cuenta y oportunamente pacte lo que corresponda con el Concesionario. Lo cual debe quedar debidamente constanding en el expediente de la contratación.</p>

Sin embargo, en el Acto de valoración realizado el 7 de septiembre 2010 por el Consejo de Administración, se indica: “El presente acto de valoración plasma fehacientemente las razones de urgencia y de imperiosa necesidad de una inmediata intervención de la estructura ..., el Consejo Nacional de Vialidad determina que las labores ordenadas en cuanto a la losa del puente constituye una solución de carácter permanente y que técnicamente debe determinarse cuales intervenciones adicionales se requieren para tener la equivalencia técnica correspondiente a los términos del cartel y contrato de concesión, condición que se le comunicará al Consejo Nacional de Concesiones para su trámite”. (El subrayado no es del original)

Lo anterior contradice el criterio de la Ing. María Ramírez, el cual como se mencionará más adelante, “la propuesta de sustitución de la losa del puente de 4 vías existente con piso mixto de acero con la mitad rellena de concreto es una solución técnica equivalente a la suma de las actividades 2a) y 2b) de la Rehabilitación del Puente, incluida en el Contrato de Concesión San José-Ramón, las cuales no serían necesarias si la Administración sustituye directamente la losa con el piso mixto”. (lo subrayado es del original). Las actividades 2a) y 2b) se refieren a:

- a. Sustitución de losa existente por losa nueva de concreto
- b. Refuerzo de vigas y cerchas de superestructura para cumplir con la variación de carga muerta y la carga viva actual HS20+25%

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 42 de 73
------------------------------	--	-----------------



8. Falta de claridad en el alcance de la intervención propuesta

Existe una contradicción por parte de la Dirección de Puentes entre lo definido originalmente como el alcance de la intervención a realizar en el puente sobre el Río Virilla y lo que se plantea actualmente en la Orden de Modificación N°2 en trámite.

Originalmente el alcance de la intervención, de acuerdo con la Ing. María Ramírez suponía que la propuesta de solución de sustitución de la losa existente por un piso mixto de rejilla de acero rellena a media altura, no requería el refuerzo adicional de vigas y cerchas.

En el oficio 103709 del 27 agosto 2009 emitido por la Ing. María Ramírez en respuesta al oficio DJ-0733 de la División Jurídica de la Contraloría General de la República, en el apartado 2. *“Alcance de intervención en relación con el Contrato de Concesión San José-San Ramón”*, señala que en relación con el cartel de esta concesión del año 2004, se estableció que la intervención del puente sobre el Río Virilla incluía las siguientes etapas:

1. Ampliación del puente sobre el Río Virilla a 8 vías, con la construcción de 2 nuevos puentes de doble vía a cada lado del existente, el cual se mantendría en servicio.
2. Rehabilitación del puente existente de 4 vías, después de la construcción de los dos puentes de doble vía, que implica:
 - a. Sustitución de losa existente por losa nueva de concreto
 - b. Refuerzo de vigas y cerchas de superestructura para cumplir con la variación de carga muerta y la carga viva actual HS20+25%
 - c. Refuerzo de pilas y bastiones de la subestructura para cumplir con los factores de seguridad por resistencia y por sismo que exige la normativa de diseño AASHTO vigente.

Adicionalmente señala: “Por lo tanto es claro que la propuesta de sustitución de la losa del puente de 4 vías existente con piso mixto de acero con la mitad rellena de concreto es una solución técnica equivalente a la suma de las actividades 2a) y 2b) de la Rehabilitación del Puente, incluida en el Contrato de Concesión San José-Ramón, las cuales no serían necesarias si la Administración sustituye directamente la losa con el piso mixto”. (el subrayado no es del original)

Finalmente reitera: *“Considerando que el elemento más urgente de reparar es la losa y que para su sustitución se requiere el refuerzo de las vigas y cerchas, esta Dirección ha recomendado considerar*

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 43 de 73
------------------------------	--	-----------------



como alternativa a la losa nueva de concreto el uso de un piso mixto de rejilla de acero con concreto que tiene la ventaja de reducción del peso propio que permite el incremento de la capacidad viva sin refuerzo adicional de vigas y cerchas, ... (el subrayado no es del original)

En la Tabla 4 se presenta el cuadro comparativo entre la solución de losa colada de 22 cm de espesor y el piso mixto de rejilla realizado por la Ing. María Ramírez González y en el que muestra, a partir de un cálculo de pesos de la losa existente y las dos opciones de tablero, concluye que con el piso mixto de rejilla de acero y concreto, no requiere refuerzo de vigas y cerchas.

Tabla 4. Cuadro comparativo entre la solución de losa colada de 22 cm de espesor y el piso mixto de rejilla.

Intervención de superestructura	Peso kg/cm ²	Variación PESO LOSA para vigas y cerchas existentes	Carga viva			Implicaciones
			Nombre	Peso (Ton)	Porcentaje (%)	
Losa existente de 6,5 pulg=16,51 cm	396,24	100%	HS 15-44	24,49	100	Debido al déficit del 67% en la carga viva de diseño está muy fatigada y debe demolerse
Losa a construir de 22 cm	528,00	133%	HS 20+25%	40,82	167	Requiere refuerzo de vigas y cerchas POR CARGA MUERTA Y POR CARGA VIVA
Piso mixto de rejilla de acero+concreto Peso rejillas 5 3/16" (h=13,176 cm)=100,00 Peso de 6,5 cm de concreto f'c= 162,50	262,50	66%	HS 20+25%	40,82	167	= > NO REQUIERE REFUERZO de vigas y cerchas POR CARGA MUERTA NI POR CARGA VIVA

Fuente: Oficio 103709 del 27 de agosto 2009 emitido por la Ing. María Ramírez González.

Es importante reiterar lo indicado en el punto 9.2 de este informe, en donde el 7 de octubre del 2009, mediante oficio SJ-SR 1549/10-09 dirigido a la Dirección Jurídica del CONAVI, se adjunta el oficio SJSR_DT 10-002-09 de fecha 7 de octubre del 2009 emitido por el Director Técnico de Autopistas del Valle, en el que emite su criterio en cuanto a la intervención propuesta por el CONAVI y señala:

“La propuesta del CONAVI se refiere exclusivamente a la sustitución de la losa del tablero, la que independientemente de cómo se realice representa una solución temporal a un problema estructural generalizado que manifiesta un puente ubicado en una ruta neurálgica del país, que no presenta una alternativa práctica para sus usuarios.



Si bien la losa del puente es el elemento más visible de una estructura y se comprende la razón del por qué el CONAVI esté recomendando su reparación inmediata no es menos cierto que en este caso el avanzado estado de deterioro de la losa es el reflejo del estado general del puente. Dicho de otro modo, el sustituir la losa no elimina el riesgo del deterioro a corto plazo de la misma.

En relación con el método de sustitución de la misma, se debe recalcar que aunque una de las alternativas implica reforzar la cercha metálica y la otra no, en ambas se debe considerar realizar como mínimo un mantenimiento completo de la estructura metálica revisando, reemplazando, readecuando y pintando tanto los perfiles metálicos como los conectores dañados. (el subrayado no es del original)

En complemento al criterio emitido por el concesionario, es importante resaltar el hecho de que la sustitución de la losa, no era la única actividad de intervención necesaria a considerar en el puente sobre el río Virilla, debía realizarse un análisis estructural global del puente para posteriormente definir el orden de priorización de las etapas indicadas: sustitución de la losa existente, refuerzo de vigas y cerchas y readecuación sísmica. Por otra parte, en ese mismo oficio se advierte sobre el riesgo de deterioro a corto plazo que podría tener la sustitución de la losa, situación que se evidenció con los deterioros prematuros presentados a finales de enero 2011 y que generó el presente informe de Auditoría Técnica.

De acuerdo con la revisión documental realizada por esta Auditoría Técnica, en febrero 2011, en la Sesión 804-11 del 3 de febrero del Consejo de Administración del CONAVI, comienza a surgir el tema de la rigidización de la estructura del puente, en donde se indica:

“La señora Viceministra informa que de hoy en ocho días queda el puente sobre el río Virilla, en la Ruta 1, a cuatro carriles. Asimismo informa que solicitó al contratista que cotizaran rigidizar la estructura del puente.”

Asociado a este tema, en marzo 2011, momento en que ya se habían presentado los deterioros prematuros en el sistema de rejillas metálicas, mediante oficio DVI-373-11 del 10 de marzo 2011 emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones, dirigido al Ing. Guillermo Loría Salazar, Coordinador del Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR, adjunta documento técnico sin número de oficio elaborado por la Ing. María Ramírez en el que da respuesta a los principales cuestionamientos surgidos en el plano técnico a raíz del deterioro prematuro presentado en el sistema de rejillas metálicas, entre los cuestionamientos que se plantean está el siguiente, textualmente:

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 45 de 73
------------------------------	--	-----------------



¿Puede colapsar el puente?

Con los trabajos realizados en la losa no existe riesgo de colapso de la estructura en condiciones de solicitud normal. En estos momentos el puente tiene mejores condiciones para soportar sismicidad ya que la losa es más liviana. De todas formas, para concluir el refuerzo de la estructura se procederá a su rigidización de acuerdo al cronograma que ya estaba planificado, siguiendo las recomendaciones de la Dirección de Puentes del MOPT, incorporados desde el 2004 al Contrato de Concesión, las cuales fueron ratificadas posteriormente en el año 2006 por el Lanamme. (el subrayado no es del original)

Como se puede observar, el tema del refuerzo del puente, actualmente en el 2011, se volvió a retomar como una actividad necesaria dentro de la intervención que requiere la estructura del puente, mientras que en el 2009, el criterio de la Dirección de Puentes era que la ventaja del piso mixto de rejilla de acero concreto es la reducción del peso propio que permitía el incremento de la capacidad viva sin refuerzo adicional de vigas y cerchas, de ahí la recomendación de esa opción.

Esto se corrobora mediante la Orden de Servicio N°5 aprobada el 3 de marzo 2011, en la que se comunica y ordena:

“Suspende parcialmente operaciones de construcción del proyecto a partir del 03 de marzo de 2011”

En la razón de esta Orden de Servicio N°5 se indica lo siguiente:

“La presente Orden de Servicio se realiza para suspender parcialmente el proyecto debido a que se debe de realizar la Orden de Modificación N°2, la cual contempla las actividades de limpieza y reforzamiento de la subestructura del puente sobre el Río Virilla. Estos trabajos son necesarios para garantizar el adecuado desempeño del sistema estructural del puente”. (lo subrayado no es del original)

El tema del reforzamiento de la subestructura se corrobora con la respuesta al oficio LM-AT-58-11 emitido por la Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng, Coordinadora de Auditoría Técnica del LanammeUCR en donde se le consulta al Ingeniero Álvaro Ulloa Murillo sobre el estado de esta Orden de Modificación N°2 y en qué consiste específicamente el reforzamiento de la subestructura y el monto aproximado de los trabajos que se contemplan, por lo que mediante oficio GCTI-11-0336 del 27 de abril del 2011, el Ing. Ulloa indica lo siguiente:

“La Orden de Modificación N°2 se encuentra en los siguientes términos:

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 46 de 73
------------------------------	--	-----------------



1. Se envió a la Gerencia de Contratación de vías y Puentes, los costos correspondientes de los ítems a utilizar en la Orden de Modificación de Obra para su respectivo análisis.
2. Se envió el diseño propuesto por la empresa (Soares da Costa), para la revisión de la Ing. María Ramírez, Directora de Puentes del MOPT.
3. El monto aproximado de la Orden de Modificación corresponde a \$4.5 millones.
4. Los trabajos a realizar en la presente Orden de Modificación corresponde a:

ÍTEM	
1.	Auscultación Estructura. Este ítem incluye la auscultación visual del puente para determinar su estado de conservación actual, determinación de los requerimientos y definición de los elementos a reparar o sustituir.
2.	Andamios y Accesos. En este ítem se incluyen todos los andamios necesarios para generar el área de trabajo en la parte inferior del tablero del puente, así como el área de trabajo para la cercha de acero, permitiendo alcanzar todos los elementos verticales, horizontales y diagonales de la misma.
3.	201(1)A Limpieza estructura metálica.
4.	611(1) Acero estructural suministrado, fabricado y erigido. Elementos de cercha. En este ítem se incluye la remoción de los elementos de la cercha, que por su avanzado estado de deterioro así lo ameriten, serán reemplazados por elementos de acero nuevos.
5.	611(1)A Acero estructural suministrado, fabricado y erigido. Sustitución de apoyos tipo pot bearings. Incluye la sustitución de los cuatro apoyos de la cercha, por apoyos tipo "Pot Bearing".
6.	611(1)B Acero estructural suministrado, fabricado y erigido. Sustitución apoyos almohadillas de neopreno. Incluye la sustitución de los cuatro apoyos de la cercha, serán debidamente reemplazados por apoyos tipo almohadilla de neopreno. Se incluye todo el equipo necesario para levantar la superestructura del puente, para realizar la remoción de los apoyos existentes, construir un pedestal en concreto armado para el asiento de las nuevas estructuras de apoyo.
7.	611(1)C Acero estructural suministrado, fabricado y erigido. Sustitución de Conexiones. En este ítem se incluye la remoción de los conectores de elementos de la cercha que por su deterioro avanzado así lo ameriten, por conectores de acero nuevos.
8.	611(1)D Acero estructural suministrado, fabricado y erigido. Sustitución de pernos. En este ítem se incluye la remoción de los pernos que unen elementos de la cercha que por su deterioro avanzado y así lo ameriten, serán reemplazados por elementos nuevos.
9.	708.03A Pintura de acero estructural - mantenimiento.
10.	708.03B. Pintura de acero estructural - completa.

Se puede observar que del 2009 al presente año 2011, el alcance de la intervención propuesta originalmente ha variado sustancialmente, ya que a pesar que en el 2009 se planteaba que la ventaja del piso mixto proveería la reducción del peso propio que a su vez permitiría el incremento de la



capacidad viva sin refuerzo adicional de vigas y cerchas, actualmente está en trámite vía Orden de Modificación N°2 para realizar el reforzamiento de la subestructura para garantizar el adecuado desempeño del sistema estructural del puente, según criterio del MOPT-CONAVI. (El subrayado no es del original)

Para esta auditoría técnica es relevante este hecho ya que asociado a la conceptualización del proyecto, esta situación de contradicción en el alcance de la intervención pone de manifiesto, debilidades en cuanto a la calidad de los estudios preliminares como lo es la existencia de un diseño estructural global de la estructura del puente y elementos circunstanciales como la falla de la junta de expansión (que propiciaron la situación de urgencia de rehabilitación del puente), que muestran que esta intervención de rehabilitación debía realizarse considerando la condición integral de los elementos estructurales del puente, precisamente por los años de servicio y la falta de mantenimiento que se le ha dado a esta estructura.

Lo expuesto anteriormente en los puntos del 1 al 8, plantea a esta Auditoría Técnica el criterio de que no se tenía experiencia necesaria en el país, para la instalación del sistema de piso mixto de rejilla de acero rellena de concreto, para haberla considerado como solución de intervención en una ruta con la relevancia nacional como lo tiene la ruta N°1 sobre la que se encuentra el puente sobre el Río Virilla. Lo anterior basado en lo indicado por la misma Ing. María Ramírez en el oficio 103709, en el que indica: "...en nuestro país solo se ha instalado piso de rejilla de acero abierta (sin concreto) en los puentes del Río Grande de Térraba en Paso Real y en el puente colgante sobre el Río Peñas Blancas en la ruta 702. (el subrayado no es del original). Se aclara en este punto que esta Auditoría Técnica está a favor de la utilización de nuevos sistemas constructivos y tecnologías en materia vial en nuestro país, siempre y cuando se cuente con los debidos estudios y diseños preliminares que técnica y económicamente demuestren su viabilidad de aplicación.

Por otra parte, se evidencia adicionalmente, el hecho de que la declaración de urgencia de intervención de un proyecto no puede excluir u omitir la realización de estudios preliminares completos, máxime tratándose de una estructura de puente en una ruta principal para el país, a la que no se le ha dado mantenimiento oportuno. En este proyecto se tomaron decisiones bajo la premisa única de reducción de plazo en las actividades que se pretendían realizar, sin tomar en cuenta a fondo el aspecto técnico, como lo es, la condición integral del puente y el impacto que podría tener la sustitución únicamente de la losa al resto de la estructura.



10.2 Sobre los estudios preliminares realizados al proyecto de sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla

HALLAZGO 3: Los estudios básicos preliminares realizados por el MOPT-CONAVI para implementar la intervención en la losa sobre el puente del Río Virilla fueron insuficientes.

Con base en la revisión documental y entrevistas realizadas a los funcionarios involucrados en este proyecto, el equipo auditor ha evidenciado escasez de estudios básicos preliminares, dentro de los cuales se podría citar:

- a. Inventario del puente.
- b. Datos de inspección detallada.
- c. Informes de auscultación visual de la condición de la superestructura y la subestructura del puente
- d. Evaluaciones de la condición actual de la superestructura y subestructura del puente

Entre los aspectos fundamentales de una gestión de carreteras es mantener un inventario de los activos. En el caso de los puentes, es necesario conocer su ubicación geográfica y sus características. Es importante mencionar que las estructuras en general, deben ser monitoreadas con el fin de evaluar las deficiencias y los deterioros de manera que se puedan implementar procedimientos de intervención antes que éstos empeoren. Para poder conocer el procedimiento de mantenimiento o rehabilitación adecuada que se debe implementar, cuándo se debe realizar y cuál estructura intervenir, es necesario utilizar un sistema de administración de carreteras y puentes.

En el oficio No 211.11 recibido el día 15 de abril del 2011, dirigido a la Ing. Jenny Chaverri Jiménez MScEng, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR y en respuesta al oficio LM-AT-011-11 de fecha 07 de abril del 2011; la ingeniera María Ramírez, Directora de la Dirección de Puentes del MOPT, responde en cuanto a la solicitud de informes de inspección, evaluaciones o inventarios que haya realizado la Dirección de Puentes del MOPT a la estructura del puente ubicado sobre el Río Virilla, lo siguiente: *...” No existen por parte de esta Dirección, dado que este puente está incluido en la Concesión San José-San Ramón desde el año 2004.”*

Posteriormente y en relación con la respuesta expuesta en el párrafo anterior, se envía el oficio LM-AT-069-11 con fecha 05 de mayo del presente año, emitido por la Ing. Jenny Chaverri Jiménez MScEng, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR donde se le solicita a la Ing. María Ramírez que se refiera con mayor detalle a las consultas:

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 49 de 73
------------------------------	--	-----------------



1. ¿Existen informes de inspección, evaluaciones o inventarios realizados por parte de alguna otra entidad para el puente en mención?
2. ¿La Dirección de Puentes utilizó algún tipo de documento, de los citados anteriormente, para basar la decisión de intervención de sustitución de la losa existente por un piso mixto de rejilla de acero? Por favor especificar y adjuntar dichos documentos.

En respuesta a estas consultas se recibe el oficio 323.11 emitido por el Ing. Mario Loría, Director a.i. de la Dirección de Puentes del MOPT, dirigido a la Ing. Jenny Chaverri Jiménez, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR y recibido el día 10 de junio del 2011, en el cual responde a las preguntas de la siguiente manera:

...”1. Con respecto a la primera pregunta es importante destacar que dentro del contrato de la Concesión de Obra San José-San Ramón (año 2004) el Concesionario está en la obligación de intervenir el puente sobre el Río Virilla; de lo anterior se desprende que probablemente esta Concesionaria ya habrá realizado algún tipo de estudios o evaluaciones de esta estructura...

Por otra parte, según el oficio 103709 hay un informe realizado en el año 2006 por el LanammeUCR con respecto a este puente.

2. De la segunda pregunta el suscrito desconoce si hay algún documento en el cual se basó desde antes de la contratación de la compra de la rejilla metálica, la decisión de intervención de la sustitución de la losa existente por el piso mixto de rejilla de acero. Sin embargo en el oficio 103709 en el primer párrafo de la pagina 7, la ingeniera María Ramírez González expone los motivos de selección del método de refuerzo...”

De acuerdo con el párrafo anterior, se evidencia que no se desarrolló por parte de la Dirección de Puentes del MOPT una evaluación de la condición general del puente para que de esta forma se pudiera contar con una inspección detallada (nivel de proyecto), para lograr un diagnóstico adecuado que permitiera generar el diseño de una solución técnica viable para el problema presentado en la losa del puente sobre el río Virilla. No es posible determinar la solución técnica si no se conoce claramente la causa de los problemas observados en la estructura, por lo que para que el diagnóstico sea adecuado es fundamental realizar la inspección.

Adicionalmente se solicitó en el Consejo Nacional de Concesiones mediante el oficio LM-AT-070-11 enviado el 05 de mayo del 2011, la siguiente información:

1. Documentos (inventarios, inspecciones, evaluaciones, planos, etc.) que comprenden el proyecto de ingeniería definitivo sobre el reforzamiento y rehabilitación de los elementos de la

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 50 de 73
------------------------------	--	-----------------



estructura existente sobre el Río Virilla, que según se indica consideró todo tipo de intervenciones, concebido en septiembre del año 2006 por la sociedad concesionaria.

Pese a que mediante oficio LM-AT-91-11 del 2 de junio 2011 se les envía un recordatorio de envío de la información solicitada, a la fecha de conclusión de este informe no se recibió respuesta por parte del Consejo Nacional de Concesiones.

En el oficio No 211.11 de la Dirección de Puentes, mencionado anteriormente se remiten los documentos correspondientes al expediente del proyecto de sustitución de la losa sobre el puente del Río Virilla. En el expediente aportado se incluyen documentos donde se hace referencia a elementos que caracterizan la condición del puente en general, estos documentos son:

1. Oficio 103709: Enviado el 27 de agosto del 2009 a la Lic. Gabriela Trejos, Dirección Jurídica de CONAVI, por la Ing. María Ramírez, Dirección de Puentes del MOPT.
2. REPORTE TÉCNICO: Reparaciones realizadas en el paso superior Juan Pablo II y en el puente sobre el Río Virilla, elaborado por la Ing. María Ramírez de la Dirección de Puentes del MOPT (Agosto, 2009)
3. FORO TÉCNICO CFIA: Reparaciones sobre el puente Río Virilla Ruta N°1, elaborado por la Ing. María Ramírez de la Dirección de Puentes del MOPT (31 de Agosto del 2009)

Entre la información detallada en estos documentos se puede encontrar una descripción del puente en estudio, considerando el diseño original del mismo, la que detalla la subestructura, superestructura, el tablero; además menciona las especificaciones de diseño originales, la carga viva permitida y detalles del refuerzo de los elementos de concreto que tiene el puente.

En cuanto a una descripción del estado del puente o datos de evaluaciones visuales como parte de una inspección de daños en el primer documento únicamente se hace referencia a la “eflorescencia” que es una condición relacionada particularmente con el estado de la losa, dicho informe no valora una serie de elementos que se deben considerar para la clasificación del grado de deterioro de un puente.

Refiriéndose al Manual de Inspección de Puentes, emitido por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA por sus siglas en inglés “Japanese International Cooperation Agency”) en enero del año 2007, (documento al cual se hace referencia en este Reporte Técnico presentado por la ingeniera María Ramírez) en el *Capítulo No 6. Lineamiento para la clasificación del grado de deterioro del puente*, se menciona que: ...“ como parte del procedimiento de inspección de puente se

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 51 de 73
------------------------------	--	-----------------



cuenta con una hoja de inspección, donde se califica el grado de deterioro del puente tomando en cuenta la condición en que se encuentran los diferentes elementos que componen los accesorios, superestructura y subestructura". En el Anexo N° 3, se muestra la "Hoja de inspección" que recomienda JICA para utilizar el inventario de un puente, en ésta se puede observar la cantidad y la calidad de la información que se requieren para desarrollar una inspección.

Del texto señalado se recalca la importancia de realizar una evaluación, para poder registrar en un inventario completo de toda la estructura del puente y sus diferentes componentes, no solamente de la losa, esto con el fin de obtener un panorama global. Este manual también menciona que se debe evaluar el grado de daño que se presenta con una escala progresiva, la cual tampoco se menciona en el Reporte Técnico de la Dirección de Puentes.

De acuerdo con el informe técnico que se presenta en el Anexo N°2 "Evaluación de documentación técnica relacionada con el proyecto de sustitución de la losa original del puente sobre el Río Virilla – Ruta 1", elaborado por el Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD, de la Unidad de Puentes del LanammeUCR, las etapas básicas para el diseño de una reparación o rehabilitación de un puente según la publicación de la Federal Highway Administration FHWA-HRT-06-032, Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1-Bridges (Sección 1.12.2.4) son las siguientes:

1. Revisión de la información disponible e inspección del puente
2. Interpretación de la información recopilada en la inspección y diagnóstico de la condición actual del puente
3. Evaluación estructural del puente
4. Identificación de las posibles alternativas de rehabilitación
5. Evaluación de la viabilidad de las medidas rehabilitación
6. Documentación de la estrategia de rehabilitación seleccionada

Con base en lo descrito anteriormente, no se tiene evidencia de que exista un documento formal realizado por la Dirección de Puentes del MOPT donde se muestre que se haya ejecutado un procedimiento de rehabilitación según los pasos indicados anteriormente, que describen una aplicación completa de las buenas prácticas internacionales de la ingeniería.

Adicionalmente en todos los documentos citados y aportados por la Dirección de Puentes del MOPT (REPORTE TÉCNICO, Oficio 103709 y FORO TÉCNICO CFIA, se hace mención al informe emitido



por el LanammeUCR en septiembre del 2007, denominado: “Evaluación Preliminar Proyecto San José - San Ramón Programa de Trabajo 2006” (Ver el apartado 9.3 de este informe).

Según se detalla en dicho informe, el objetivo de realizar una evaluación preliminar es el de servir como un punto de partida para la recopilación de la información importante de una forma ordenada y que permita la elaboración de una base de datos para posteriormente realizar análisis a profundidad de los elementos estudiados, es decir, para continuar con el proceso se requiere de recolección de información adicional sobre la condición de la estructura, para su análisis y posterior toma de decisiones, tal como se menciona en la lista de las etapas básicas para el diseño de una reparación o rehabilitación de un puente según la referencia mencionada anteriormente.

En relación con este informe, es importante tomar en cuenta que la auscultación visual data del año 2006, por lo que el planteamiento de una intervención en el 2010 debía considerar una actualización de la información del estado del puente, específicamente del puente sobre el río Virilla, así como la realización de estudios complementarios suficientes para definir la solución de la rehabilitación. No obstante, no hay evidencia de que exista otro documento formal elaborado por parte de la Administración que demuestre que el daño en la losa había empeorado aceleradamente entre el 2007 al 2010, análisis necesario para evaluar la condición del puente y la necesidad de la sustitución de la losa. Adicionalmente es importante considerar que actualmente la carga viva es mayor a la que se consideró en el diseño y el paso de cargas mayores acelera el deterioro, por lo que probablemente la condición de deterioro determinada en el 2006 no corresponde a la condición actual de la estructura. Se debe recordar además que una *“estructura deteriorada puede comportarse de forma diferente a como fue diseñada y la capacidad de carga puede estar determinada por modos de falla diferentes”*⁷.

Debe considerarse además, que en dicho informe se menciona que el puente sobre el Río Torres y el puente Juan Pablo II, presentan un Factor de Clasificación similar al del puente sobre el río Virilla con respecto a la clasificación de la losa, por ejemplo para el puente sobre el río Virilla se obtiene un F.C.=0,65; en el caso del puente sobre el río Torres F.C.= 0,65 y para el puente Juan Pablo II un F.C.= 0,64. De ahí que apegados a la información contenida en el informe, si bien es cierto el LanammeUCR, indica un nivel considerable en la condición de deterioro de la losa del puente sobre el Río Virilla, el puente sobre el Río Torres también debió haber sido considerado como un candidato prioritario debido a su condición, por tanto se refuerza el criterio de que este informe preliminar con información del 2006, por sí solo no era suficiente para definir la condición del puente y la solución de intervención a aplicar. Adicionalmente, se puede ver que varios puentes importantes de la Ruta

⁷ AASHTO Manual for bridge evaluation, 2008. 6A.6.5.



Nacional 1 en el segmento objeto del estudio presentan tableros con estados similares al indicado para el Puente Virilla-Ruta N°1, tal es el caso del denominado Intercambio Aeropuerto Juan Santamaría.

Como se menciona en el informe *“Evaluación de documentación técnica relacionada con el proyecto de sustitución de la losa original del puente sobre el Río Virilla – Ruta 1”* (Ver Anexo 2), la evaluación por clasificación de carga (load rating) calculada en el informe del LanammeUCR del año 2006, es un aspecto importante para evaluar el estado de un puente pero no es la única evaluación que se debe hacer para determinar las medidas apropiadas para efectuar una rehabilitación. Por ejemplo, se debe realizar una evaluación estructural y sísmica de todos los elementos de la superestructura y subestructura del puente.

Es importante recalcar que de acuerdo con ese informe preliminar, también otros elementos del puente requerían de atención según la clasificación establecida por el Factor de Clasificación (Ver punto 9.3 de la Introducción), a saber las vigas principales sin considerar el sismo presentan un valor de F.C.=0,89 (11% por debajo del valor aceptable), y no solamente la losa, tal como se justificó el proyecto de sustitución de la losa del puente sobre el río Virilla.

Como se cita en la página 8 del oficio 103709 elaborado por la Ing. María Ramírez del 27 de agosto del 2009: *“Los resultados obtenidos por el LANAMME confirman el reemplazo de la losa y el refuerzo de las vigas cerchas pilas y bastiones indicados en la rehabilitación solicitada por la Administración en el Contrato de Concesión de la Autopista dos años antes.”* El comentario anterior manifiesta que según el informe emitido por el LanammeUCR, la losa no era el único elemento del puente que requería ser intervenido debido a su condición.

Cabe indicar que el propósito de la evaluación somera de la condición de carga viva citado, no debe ser tomado más que como un primer filtro que le permita a la Administración elaborar un plan de intervención integral para cada uno de los puentes que aparezcan con calificación global deficiente. En el caso de los puentes, al igual que en el caso de otras obras civiles, es inadecuado intervenir uno de sus componentes sin la clara valoración del efecto que tendría la priorización resultante.

La realización de estudios preliminares toma mayor relevancia especialmente si se considera que internacionalmente los estudios preliminares o de factibilidad rondan típicamente el 3% del valor del proyecto, que en el caso que nos atañe pudo haber representado alrededor de \$40.000 para dicho fin. Estudios preliminares adecuados pueden evidenciar y por ende llegar a evitar futuros problemas en la operación y funcionamiento del proyecto.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 54 de 73
------------------------------	--	-----------------



Por lo tanto, la información descrita en el informe de evaluación preliminar realizada por el Lanamme en el 2006, se desarrolla a nivel de red e incluyó un estudio general de los 13 puentes pertenecientes a la ruta concesionada, por lo que era necesario realizar estudios a nivel de proyecto que permitieran, desarrollar un inventario detallado del puente, inspección del mismo y respectivos análisis estructurales antes de tomar una decisión técnica al respecto de manera que aportaran la información suficiente, competente y completa para fundamentar la inversión de aproximadamente \$4 millones de dólares.

Por otra parte, es importante además, contextualizar el proyecto de intervención de la losa del puente sobre el río Virilla, dentro del alcance que tuvo el estudio realizado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

En febrero del 2007 se concluyó el *“Estudio sobre el Desarrollo de Capacidad en la Planificación de Rehabilitación, Mantenimiento y Administración de puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica”*, cuyo producto fue la creación de cinco proyectos modulares a gran escala: *“Proyecto de construcción de la capacidad individual MOPT y CONAVI, Proyecto de construcción institucional para MOPT y CONAVI, Proyecto de Desarrollo de Recursos Humanos a largo plazo y de intercambio técnico, Proyecto de mejora de regulación y estándares, y Proyecto de promoción y defensa de las relaciones públicas”*; adicionalmente, este estudio presentó un lineamiento y dos manuales como una herramienta para apoyar las actividades de mantenimiento de puentes, éstos son: el *“Lineamiento para el Mantenimiento de Puentes, el Manual de Inspección de Puentes y el Manual del Sistema de Administración de Estructuras de Puentes”*.

Los objetivos principales del estudio realizado por JICA, fueron dar asistencia en el desarrollo de capacidad de la rehabilitación, planeamiento, mantenimiento y administración de puentes; implementar la inspección, diagnóstico y plan de rehabilitación y refuerzo para puentes en vías y el establecimiento del Sistema de Administración de Puentes.

Para estos 29 puentes seleccionados se escogieron 17 de viga de concreto y 12 de viga de acero. Con base en los resultados de la evaluación de la deficiencia de los puentes catalogaron 10 de ellos para realizar rehabilitación y reforzamiento.

En este estudio se incorporó a los ingenieros de la Administración (MOPT) tanto en la etapa administrativa como en el estudio para implementar la inspección de los puentes como un tipo de

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 55 de 73
------------------------------	--	-----------------

“entrenamiento en el trabajo”, utilizando efectivamente las hojas de inspección aportadas por el JICA, en el informe final del Estudio de Desarrollo de la Capacidad en la Rehabilitación, Planificación, Mantenimiento y Administración basado en los 29 puentes de la Red Vial Nacional de Costa Rica, entregado en febrero del año 2007, lo que evidencia a este equipo auditor que la metodología empleada por JICA era de conocimiento de la Administración.

El Manual de Operación para el Sistema de Administración de Puentes (JICA, enero 2007), en el Capítulo N°1, se plantean las actividades necesarias para llevar a cabo el funcionamiento del Sistema de Administración de Puentes a nivel general (ver Figura 3). Como se puede observar es fundamental para el sistema contar con información básica de las condiciones del puente para poder generar un inventario y a partir de esto definir el estado del puente y las intervenciones necesarias en el momento oportuno.

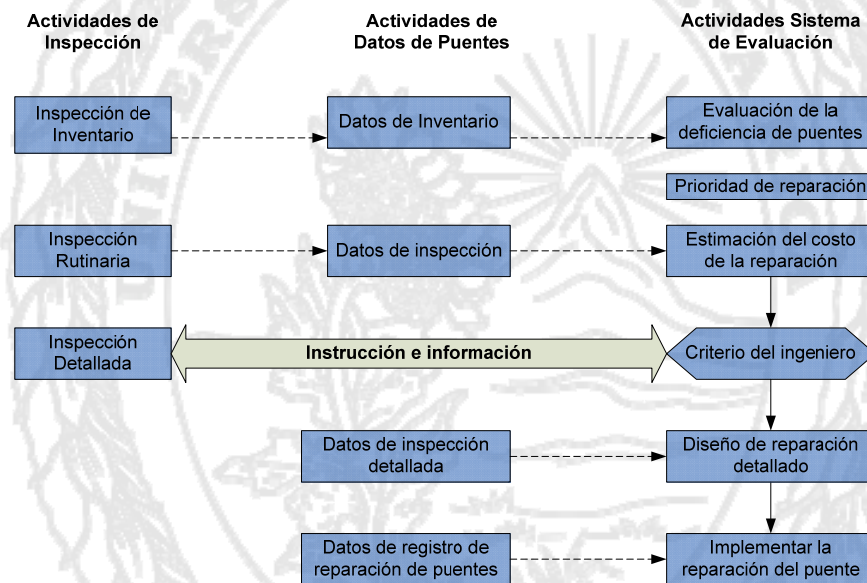


Figura 1.1 Diagrama de funcionamiento del Sistema de Administración de Puentes

Figura 3. Diagrama de funcionamiento del Sistema de Administración de Puentes

Fuente: Manual de Operación para el Sistema de Administración de Puentes. Enero, 2007.

Es relevante destacar que a pesar de que en el año 2005 la agencia JICA colaboró durante un periodo de dos (2) años con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Costa Rica (hasta el 2007, año en el que se entregó el informe anteriormente citado) para crear una metodología con el propósito de establecer el Sistema de Administración de Puentes, situación que evidencia que para este proyecto en particular, de sustitución de la losa del puente sobre el río Virilla planteada en el

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 56 de 73
------------------------------	--	-----------------



2009, esta metodología no fue aplicada, aspecto que fue concluido por la Contraloría General en el informe DFOE-OP-IF-12-2010.

Si bien es cierto en Costa Rica, y tal como se ha evidenciado en el proyecto de intervención de la losa del puente sobre el río Virilla, no se encuentra aún implementado el Sistema de Administración de Puentes, objetivo principal del estudio realizado por JICA, situación que además se expresa en el informe No.DFOE-OP-IF-12-2010 de fecha 18 de agosto emitido por la Contraloría General de la República. Bajo el entendido de que la intervención en el puente sobre el Río Virilla tenía para la Administración una connotación de urgencia tal como se hace ver en el oficio 103709 de la Ing. María Ramírez, es importante hacer hincapié que este estudio de JICA describe también un procedimiento útil e importante que sirve como guía para abordar este tipo de intervenciones.

Al no contar con informes de inspección, evaluaciones del puente, según lo menciona la Ing. María Ramírez en su oficio 211.11, debido a que este puente se encontraba dentro de la Concesión San José-San Ramón, hubiese sido esencial realizar un estudio o evaluación básica que permitiera definir la condición existente a nivel general del puente (año 2009, donde se decide intervenir) y a partir de éste tener elementos suficientes para la toma de decisiones acertadas.

Cabe recalcar que en el informe de la Contraloría General de la República antes mencionado se indica que: *“...Las funciones asignadas a la Dirección de Puentes, según lo consignado por la Dirección de Planeamiento Administrativo del MOPT, en el Sistema de Información Institucional (SIIPA), se pueden resumir en planear, dirigir, organizar, coordinar, ejecutar, controlar y evaluar las actividades relacionadas con la administración, el diseño y la construcción de los puentes, realizar periódicamente, inspecciones a los diferentes puentes del país; así como, mantener actualizado el inventario de los puentes; desarrollar, mediante convenios, obras por administración relacionadas con puentes; autorizar permisos de circulación y de uso por los puentes de la Red Vial; programar, organizar, coordinar, ejecutar, promover y controlar las actividades administrativas, el abastecimiento de materiales y la prestación de servicios y brindar asesoría técnica, en materia de su competencia, a todas las dependencias del MOPT, al Sector Infraestructura y Transportes, así como, a otras instituciones, cuando así lo soliciten.” (el subrayado no es del texto original)*

Especialmente en cuanto al tema de rehabilitación, reforzamiento o mejora de un puente, en general, la planificación de dichas actividades y diseño del tipo de intervención se conducen de acuerdo con los resultados de una inspección detallada, es decir elaborada a nivel de proyecto (tal como se observa en el diagrama de flujo de la Figura 3).

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 57 de 73
------------------------------	--	-----------------



El estudio de JICA, también menciona que otros factores que son importantes de considerar en la selección de la intervención de un puente son: factores de peso que corresponden al deterioro y la deficiencia que resulta de la inspección detallada, la capacidad de carga de la superestructura resultante de un análisis estructural y la resistencia sísmica de la subestructura.

El informe No DFOE-PO-IF-12-2010 de la Contraloría General de la República hace mención a que *"... La capacitación relacionada con la materia de inspección y diagnóstico correspondió al 45% de capacitación impartida y fue distribuida entre el personal profesional y técnico de la Dirección de Puentes, para un promedio por funcionario de dos capacitaciones anuales"*... por lo que es posible afirmar que era de conocimiento de esta Dirección la metodología de diagnóstico y los beneficios que se obtienen de la implementación de la misma.

Como resultado de la revisión de la documentación aportada para esta Auditoría Técnica por la Dirección de Puentes del MOPT, se logra establecer que como gestores de la solución de intervención definida para el puente sobre el Río Virilla, no se generó información relacionada con inventarios o formularios de inspecciones visuales actualizadas, relacionados con el desarrollo de buenas prácticas de la ingeniería, que permitieran detallar claramente la condición existente del puente e indiquen de manera precisa el deterioro de cada elemento estructural, datos necesarios para ser utilizados en la toma de decisiones técnicas relacionadas con el tipo de intervención adecuada en tiempo y forma a las condiciones tanto estructurales como funcionales del puente. Esta omisión de información puede ocasionar que no se considere en la selección y el diseño de la solución, elementos que se requieran.

10.3 Sobre el diseño y revisiones realizadas al proyecto de sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla

OBSERVACIÓN 1: El análisis estructural realizado para la intervención de la losa sobre el Río Virilla es incompleto y las revisiones o verificaciones realizadas a éste son insuficientes.

Con base en la revisión documental, entrevistas realizadas a los funcionarios involucrados en este proyecto y los informes técnicos elaborados por el Ing. Guillermo Santana, PhD, Coordinador del Programa de Investigación en Ingeniería Estructural (Ver Anexo 1) y el Ing. Rolando Castillo PhD, Coordinador de la Unidad de Puentes (Ver Anexo 2), ambos del LanammeUCR, se evidencia que el análisis estructural y los estudios necesarios en la etapa de diseño de la intervención de la losa del



puente sobre el Río Virilla, presentado por la Dirección de Puentes, así como las revisiones y comprobaciones realizadas al mismo son insuficientes e incompletos.

En el oficio No 211.11 recibido el día 15 de abril 2011, dirigido a la Ing. Jenny Chaverri Jiménez MSc Eng, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR y en respuesta al oficio LM-AT-011-11 de fecha 07 de abril 2011; la Ing. María Ramírez, Directora de la Dirección de Puentes del MOPT, cuando se solicitan los análisis complementarios realizados por esa dirección a la memoria de cálculo presentada mediante el oficio DMOPT-1431-11 del 10 de marzo 2011 emitido por el Ministro Francisco Jiménez, facilita la siguiente información:

- a.) Verificación de esfuerzos de rejillas, calculado en Sistema Inglés.
- b.) Verificación de esfuerzos en rejillas, calculado en Sistema Métrico.
- c.) Verificación de esfuerzos de vigas W36x280 y W36x260 de acero A440 grado 50, con luz de 27 m actuando en sección compuesta con la rejilla.
- d.) Verificación de esfuerzos de vigas W21x68 de acero A36 grado 50, con luz de 7,62 m actuando en sección compuesta con la rejilla.

También entre los documentos relacionados con las verificaciones y diseños se contó con la memoria de cálculo elaborada por la empresa LB-Foster; fabricante y suplidor de la rejilla de acero.

A manera de referencia, en el *“Estudio sobre el Desarrollo de Capacidad en la Planificación de Rehabilitación, Mantenimiento y Administración de puentes basado en 29 puentes de la Red de Carreteras Nacionales en Costa Rica del JICA de febrero 2007”*, se menciona que los planes de rehabilitación y reforzamiento se formulan a través de los resultados de los diseños detallados (Inspección visual a nivel de proyecto, prueba de la muestra del núcleo del concreto, prueba de martillo Schmitd, prueba de fenolftaleína, detección de la posición del acero de refuerzo, medición de refuerzo, medición del grosor de la placa de acero) y del análisis estructural.

En dicho estudio se menciona que es recomendable y dependiendo del caso en específico, verificar y asegurar que la capacidad de carga y la resistencia sísmica satisfaga los códigos antisísmicos locales, para esto recomienda realizar un análisis estructural con modelos estructurales computarizados para verificar las fuerzas o esfuerzos de cada miembro para determinar una necesidad al mismo tiempo que reforzar las condiciones específicas.

El estudio también hace referencia a investigaciones relacionadas con el volumen de tránsito (conteos vehiculares, proyecciones), las condiciones naturales (entender las condiciones del entorno), las



condiciones geológicas y la erosión. Esto con el objetivo de tener un panorama claro de las condiciones del puente para poder diseñar una intervención que se adecue a las mismas.

Del texto indicado se recalca la importancia de realizar una serie de estudios complementarios a parte de los necesarios para el diseño (análisis estructurales), esto con el fin de obtener un panorama global tanto estructural como funcional del puente, entender mejor su comportamiento y tener una base de datos sólida que permita y facilite la toma de decisiones por parte de la Administración, aspectos que toman mayor relevancia por tratarse de un puente en una de las rutas más importantes del país, sin dejar de lado que esta recomendación aplica para todos los puentes.

Si bien es cierto en Costa Rica no se cuenta con la implementación del Sistema de Administración de Puentes, objetivo principal del estudio realizado por JICA pese a que se entregó hace aproximadamente cuatro años y bajo el entendido que la intervención en el puente sobre el Río Virilla tenía para la Administración una connotación de urgencia, tal como se menciona en el oficio 103709 de la Ing. María Ramírez, es importante recalcar que este estudio describe un procedimiento útil e importante que se pudo aplicar en la implementación de esta solución considerando otros elementos necesarios que a criterio de esta Auditoría Técnica fueron obviados, generando limitaciones en la realización en el diseño estructural y las respectivas revisiones realizadas.

Es importante destacar, en relación con la importancia de realizar los estudios técnicos correspondientes de un proyecto, que durante el proceso de autorización de la contratación directa para la compra e instalación de la rejilla, mediante oficio DJ-0733 del 18 agosto 2009, la División Jurídica de la Contraloría General de la República solicitó al CONAVI información adicional de previo a resolver la solicitud de autorización de la contratación directa. Entre esa información la Contraloría General de la República solicitó, textualmente:

..”4) En relación con el criterio técnico solicitado y emitido por la instancia correspondiente deberá demostrarse que la opción de demoler la losa existente y sustituirla por una rejilla metálica resulta viable técnica y económicamente.

Deberá ese criterio también demostrar que la opción propuesta mantendrá el mismo nivel de servicio que ha gozado esta carretera tomando en cuenta que es una de las vías de mayor importancia del país, tanto por la cantidad de tránsito promedio diario que la utiliza como por el peso de algunos vehículos de carga que transitan por ella.

En otras palabras, que la opción recomendada ha estudiado las medidas pertinentes a efectuar en este puente de modo que permitan no solamente restaurar el nivel de servicio que gozaba esta carretera al momento de la falla del material de junta de ese puente, sino que



mantendrá el paso vehicular sobre el puente a las velocidades acordes con este tipo de vía y que la rejilla en sí misma, soporte estructuralmente por un período duradero el alto tránsito a que se verá sometida sin que sea necesario posteriores y constantes reforzamientos o cambios de la superficie de rodamiento por deformaciones excesivas, que pueda llegar a comprometer la seguridad y la comodidad de los usuarios de esta estructura". (el subrayado no es del original)

De la situación de deterioros prematuros y reparaciones aplicadas que actualmente se presenta en la losa del puente sobre el Río Virilla, se confirma que lo solicitado por la Contraloría General de la República en el extracto del oficio DJ-0733 no fue cumplido a cabalidad por parte del MOPT-CONAVI.

Por otra parte, en el informe técnico "Evaluación de documentación técnica relacionada con el proyecto de sustitución de la losa original del puente sobre el Río Virilla – Ruta 1" (Ver Anexo 2), se examina la documentación técnica facilitada por la Dirección de Puentes del MOPT a esta Auditoría Técnica con el fin de establecer cuál fue el alcance del diseño y la verificación de elementos estructurales existentes del puente por parte de esa Dirección y así establecer si se realizó una evaluación estructural global del puente. Adicionalmente se revisó la memoria de cálculo preparada por LB Foster; fabricante y suplidor de la rejilla metálica.

De acuerdo con el oficio No 183.11, recibido el día 31 de marzo del 2011, dirigido a la Ing. Jenny Chaverri Jiménez MSc Eng, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR y en respuesta al oficio LM-AT-040-11 de fecha 29 de marzo 2011; la Ing. María Ramírez, Directora de la Dirección de Puentes del MOPT menciona que el diseño fue realizado por la Dirección de Puentes, acorde con las Especificaciones de Diseño de Puentes de Carreteras de la Asociación Americana de Oficiales del Transporte por Carreteras AASTHO 2002, 17° Edición, con verificación de los estados límites de la rejilla acorde con AASTHO LRFD 2007. No obstante, de acuerdo con la revisión realizada por la Unidad de Puentes del LanammeUCR, es necesario notar que la memoria de cálculo indica que la especificación AASTHO que se usó para diseño por estado límite último es la LRFD 2006. Con base en ello, no se tiene claro si se refiere a las especificaciones AASHTO LRFD 2004 con revisiones interinas al 2006 o si se utilizó las especificaciones AASHTO LRFD 2007.

De la revisión realizada por la Unidad de Puentes del LanammeUCR al diseño de la rejilla se puede indicar que:

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 61 de 73
------------------------------	--	-----------------



1. En el diseño realizado por la Dirección de Puentes del MOPT no se contemplaron cargas permanentes importantes que podrían incidir en el comportamiento del puente, tales como:

- **Peso por la posible aplicación a futuro de una superficie de rodamiento.**
- **Peso aportado por el concreto colado en todo el espesor de la rejilla en varias partes de los paneles.**

Estos elementos son importantes de considerar en el diseño, ya que es posible que en el futuro se considere colocar una sobrecapa, ya sea por labores de mantenimiento o para mejorar la superficie de ruedo del puente, además esto se considera importante ya que en Costa Rica es muy común colocar sobre puentes existentes una carpeta asfáltica sobre la losa de puentes existentes para efectos de protegerlas del desgaste a que son sujetas después de años de brindar servicio.

Cabe recalcar que esta omisión en el diseño, significa que no es recomendable que a futuro, bajo las condiciones de diseño actuales del puente, la Administración coloque una superficie de rodamiento, ya que el peso de ésta no se consideró en el diseño, lo que podría comprometer la estabilidad de la estructura.

El otro aspecto elemental al que se hace mención es el peso aportado por el concreto colado en todo el espesor de la rejilla en varias secciones de la losa, ya que en el diseño, según lo verifica el análisis realizado por la Unidad de Puentes del LanammeUCR, se consideró que todo el concreto utilizado en la rejilla está a media altura, es decir 6,5 cm. de espesor, por lo que el diseñador omitió, en los cálculos de carga permanente, aproximadamente el 30% del volumen de concreto colado en el proyecto (50% del concreto colado en sitio), que representa aproximadamente $110,5\text{m}^3$, tal como se menciona en el "Reporte preliminar del sistema de piso de rejilla concreto instalada en el puente sobre el Río Virilla de la autopista General Cañas", documento elaborado por la Ing. María Ramírez y adjunto en el oficio DVI -373-11 del 10 de marzo del 2011

2. La Dirección de Puentes del MOPT no evaluó el efecto de fatiga sobre la rejilla aunque el fabricante, LB Foster, si realizará dicho cálculo e indicara que sí cumple.

En la revisión realizada por la Unidad de Puentes del LanammeUCR a las memorias de cálculo aportadas por la Dirección de Puentes del MOPT, se evidenció que no se evaluó por parte de esa Dirección el efecto de fatiga en el diseño de la rejilla.



En cuanto a la evaluación del estado límite de fatiga, AASHTO LRFD en su artículo 9.5.3 indica que rejillas de metal, rejillas rellenas, parcialmente rellena o sin relleno trabajando en sección compuesta con concreto reforzado deben cumplir con las disposiciones de los artículos 4.6.2.1.8 y 6.5.3.

Es importante destacar que al realizar la revisión de la memoria de cálculo realizada por el fabricante de la rejilla LB Foster, la Unidad de Puentes de LanammeUCR corroboró que se realizara la verificación correspondiente por fatiga. No obstante, es criterio de esta Auditoría Técnica que este documento no tiene carácter oficial, ya que esta compañía es el fabricante de la rejilla y la responsabilidad del diseño recae sobre la Administración en la figura de la Dirección de Puentes, que debió verificar los cálculos realizados por LB Foster en sus memorias de cálculo.

De este análisis con respecto a la verificación de las vigas de la superestructura se puede establecer que:

- 3. En la verificación de las vigas, se utilizaron esfuerzos de cedencia para el acero que las conforma, mayores que los estipulados por ASTM para la calidad de acero especificada en los planos. Según la memoria de cálculo de la Dirección de Puentes del MOPT, para el acero calidad A-440, se utilizó en la verificación un esfuerzo de cedencia de 357 MPa (50ksi) y para el acero A-7 se utilizó un esfuerzo de cedencia de 257 MPa (36 ksi). Según la referencia de Gaylord C. N. y Gaylord E.N (1968); Structural Engineering Handbook. 1° Edición. Editorial McGraw-Hill. Estados Unidos, se establece un esfuerzo de cedencia de 330 MPa (46ksi) para el A-440 y 235 MPa (33ksi) para el A-7 (4 ksi menos en el caso del acero A-440 y 3 ksi menos en el caso del acero A-7).**

Cabe mencionar que estos dos tipos de acero, A-440 y A-7, no se producen actualmente y por lo tanto no forman parte de la norma ASTM actual, por lo que los valores típicos del esfuerzo de cedencia se deben obtener de la bibliografía. También en el Manual AASHTO "MANUAL FOR BRIDGE EVALUATION 2008" en la Tabla 6A.6.2.1-1 se recomienda utilizar esfuerzo de cedencia de $F_y = 33\text{ksi}$ para elementos de acero estructural en puentes construidos entre 1936-1963 para los que se desconocen las propiedades de los materiales, fecha que coincide con la construcción del puente sobre el Río Virilla R1.

Al analizarse los esfuerzos calculados y compararlos con los esfuerzos permisibles adecuados, se puede concluir que los esfuerzos de tensión en las vigas W36X260 son un 7% mayor que el esfuerzo



permisible. Todos los demás esfuerzos calculados para las vigas W36X280 y W21X68 son menores que el esfuerzo permisible corregido para el tipo de acero correspondiente

4. La deflexión máxima estimada por carga viva de las vigas simplemente apoyadas de 27.43m de longitud alcanzó 5.5 cm. para las vigas W36x280 y W26x260, según cálculos de la Dirección de Puentes.

La Unidad de Puentes del LanammeUCR determinó en su estudio que de acuerdo con los cálculos presentados por la Dirección de Puentes del MOPT, la deflexión máxima por carga viva en las vigas de 27.43m de longitud con secciones tipo W36X280 y W36X260 tiene un valor de aproximadamente 5.5cm, el cual excede en un 50% la deflexión máxima permisible ($L/800=3.43\text{cm}$) de las vigas. El hecho que los desplazamientos en las vigas principales, producto de la carga viva, excedan el desplazamiento máximo permisible es evidencia de que la rejilla (en su eje débil) se encuentra sujeta a deformaciones por flexión. Esto produce que la rejilla, y por ende el concreto de relleno, se vean expuestos a deformaciones cíclicas tanto longitudinales como transversales que podrían ser la causa o parte de la causa del deterioro observado.

En síntesis, en términos de la intervención realizada en el puente sobre el Río Virilla, para la sustitución de la losa por un piso mixto de rejilla de acero con la mitad rellena con concreto, no se realizó un análisis estructural global para verificar la necesidad de reforzar las vigas y cerchas de la superestructura y la subestructura, dado que se consideró que era una solución equivalente a la sustitución de la losa existente y al reforzamiento mismo de la estructura como cita la Administración en el oficio 103709. Adicionalmente la intervención no contempló la readecuación sísmica de la estructura.

Es necesario aclarar tal y como concluye la Unidad de Puentes del LanammeUCR *“... los elementos de una estructura no actúan de forma independiente, sino que todos son parte de un sistema y por lo tanto una modificación en algún elemento de la estructura puede llegar a afectar las solicitaciones sobre los demás elementos y por ende podría afectar de manera negativa su desempeño. Es por ello que se considera fundamental verificar que un cambio estructural como fue la sustitución de la losa no iba a comprometer el comportamiento de otros elementos o si el estado de otros elementos de la estructura podrían comprometer la nueva losa, o inclusive, el comportamiento global del puente.”*



Consecuentemente a lo descrito anteriormente, se tiene que el puente no brindó el desempeño esperado, debido a los deterioros prematuros presentados a 7 días de haber sido puesto en operación, deterioros que hasta la fecha de emisión de este informe continúan presentándose.

OBSERVACIÓN 2: La normativa de diseño AASTHO LRFD 2007 utilizada por la Dirección de Puentes del MOPT en el diseño y verificación de la intervención de la losa del puente sobre el río Virilla fue aplicada parcialmente.

En el oficio No 183.11 recibido el día 31 de marzo del 2011, dirigido a la Ing. Jenny Chaverri Jiménez MSc Eng, Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR y en respuesta al oficio LM-AT-040-11 de fecha 29 de marzo 2011; la Ing. María Ramírez, Directora de la Dirección de Puentes del MOPT, cuando se pregunta que cuál fue la normativa técnica específica utilizada como criterio para el diseño y construcción de la intervención de la sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla, contesta:

...” Se utilizaron dos normativas: El diseño fue realizado por la Dirección de Puentes, acorde con las Especificaciones de Diseño de Puentes de Carreteras de la Asociación Americana de Oficiales del Transporte por Carreteras AASTHO 2002, 17° Edición, con verificación de los estados límites de la rejilla acorde con AASTHO LRFD 2007. La construcción fue contratada acorde con los reglones de pago indicados en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-77.”

De las revisiones realizadas a los documentos antes mencionados por los expertos técnicos en estructuras del LanammeUCR, el equipo auditor pudo comprobar que en el diseño de la losa de rejillas metálicas rellena con concreto no se realizó una verificación considerando las deflexiones que podría presentar el puente con el nuevo sistema ni el estado límite de fatiga de la rejilla.

Cabe recalcar tal y como se menciona en el Anexo 1 que para poder cumplir con los estándares de diseño estructural es necesario que todos los componentes y sus conexiones cumplan con requisitos de resistencia, y es igualmente importante para el desempeño exitoso de una obra ingenieril la garantía de que los desplazamientos y rotaciones en cada uno de los componentes y sus conexiones se mantengan dentro de límites que no afecten su funcionalidad.

Por consiguiente, la firmeza y la estabilidad del sistema deben ser verificadas para garantizar que los desplazamientos locales y globales no causen interrupciones en el servicio o aun peor el colapso parcial o total del proyecto.

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 65 de 73
------------------------------	--	-----------------



En el Anexo 2 sección 4.4 Diseño de la Rejilla, subsección 4.4.4 Evaluación de deflexiones y estado límite de fatiga se analiza el procedimiento realizado por la Dirección de Puente del MOPT relacionado con este tema y se concluye que:

“En la memoria de cálculo elaborada por la Dirección de Puentes del MOPT no existen cálculos que demuestren que las deflexiones y el estado límite de fatiga de la rejilla fueran evaluadas... el método de diseño AASHTO LRFD 2007 provee normativa para evaluar deflexiones máximas y el estado límite de fatiga como se indica a continuación:

- En cuanto a deflexiones, las especificaciones AASHTO LRFD 2007 (artículo 9.5.2) indican que los efectos de deformación excesiva del tablero, incluyendo deflexiones, deben ser considerados para tableros de rejillas metálicas. Para este sistema de losa, la deflexión causada por la carga viva más impacto no debe exceder $L/800$.
- En cuanto a la evaluación del estado límite de fatiga, las especificaciones AASHTO LRFD 2007 en su artículo 9.5.3 indica que las rejillas de metal, rejillas rellenas, parcialmente rellenas o sin relleno trabajando en sección compuesta con concreto reforzado, deben cumplir con las disposiciones de los artículos 4.6.2.1.8 y 6.5.3 de AASHTO LRFD 2007 relacionados con la evaluación de la fatiga.

Por lo que omitir la revisión de la fatiga y de las deflexiones, muestra una aplicación parcial de la normativa.

Como se puede ver, el estado límite de resistencia no es la única condición en la cual se debe basar el diseño de cada uno de los componentes y conexiones de un puente. Esto significa que una vez realizado el diseño por resistencia, se debe proceder a verificar el cumplimiento de las disposiciones referentes a las condiciones de servicio y de funcionalidad de la obra, esto cumpliendo con todas las recomendaciones de diseño descritas por esta normativa.

11. CONCLUSIONES

1. La conceptualización del proyecto de sustitución de la losa del puente sobre el río Virilla responde a una debilidad existente en el MOPT-CONAVI para justificar la falta de planificación a corto, mediano y largo plazo, bajo la figura de imprevisibilidad de las reparaciones y urgencia de la intervención de sustitución de la losa del puente, omitiendo dentro de esa conceptualización, los estudios necesarios que se deben de realizar en las diferentes actividades que componen el Sistema de Administración de Puentes. Aunado a lo anterior, factores como la presión de los medios de comunicación por el anuncio del inicio de los trabajos y el considerar como variable

Informe LM-PI-AT-55-11 (1/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 66 de 73
------------------------------	--	-----------------



predominante la reducción de plazos para la toma de decisiones, eleva el nivel de riesgo de omitir o ejecutar parcialmente procesos básicos en la generación de un proyecto que contemplen consideraciones primordiales de carácter técnico.

2. El MOPT-CONAVI no estaba preparado técnica y administrativamente para llevar a cabo el procedimiento de contratación directa para la compra e instalación de la rejilla metálica, autorizada por la Contraloría General de la República en setiembre del 2009, pese a la justificación de carácter de urgencia y de interés público del proyecto. Lo anterior debido a los atrasos ocurridos durante el desarrollo del proceso licitatorio y la falta de claridad en la conceptualización y definición de los términos de referencia de ambas contrataciones, tanto de la compra como la instalación de la rejilla, tales como:

- a. Solicitudes recurrentes de información para elaborar los términos de referencia de ambas contrataciones: suministro e instalación de la rejilla
- b. Cambio en la cantidad de rejillas a comprar debido al reordenamiento de las fases de instalación.
- c. Cambio en las dimensiones de las rejillas debido a solicitud de reducción de plazo en la entrega del producto
- d. Consideración del sistema de conexión entre rejillas como compensación por la reducción de peso de las rejillas, dado el cambio en las dimensiones de la rejilla
- e. Cambio al programa de trabajo de la instalación de la rejilla
- f. Solución provisional versus definitiva
- g. Alcance de la intervención propuesta 2009 versus 2011

Adicionalmente a los puntos indicados, hubo falta de especificaciones claras de los materiales, tema contenido en la Parte II: "Valoración del concreto utilizado en el sistema de rejilla metálica"

Lo expuesto anteriormente plantea a esta Auditoría Técnica el criterio de que no se realizó una debida planificación del proyecto ni se tenía la experiencia necesaria en el país, del uso y especificaciones técnicas requeridas del sistema de piso mixto de rejilla de acero rellena de concreto, para haberla considerado como solución de intervención en una ruta con la relevancia nacional como la tiene la ruta N°1 sobre la que se encuentra el puente sobre el Río Virilla. Esto generó una serie de modificaciones durante los procedimientos de contratación tanto de la compra como de la instalación.

3. La declaración de urgencia de intervención de un proyecto no puede excluir u omitir la realización de estudios completos y competentes, máxime tratándose de una estructura de puente en una



ruta principal para el país, a la que no se le ha dado mantenimiento oportuno. En este proyecto se tomaron decisiones bajo la premisa única de reducción de plazo en las actividades que se pretendían realizar y la sustitución del elemento crítico, sin tomar en cuenta a fondo el aspecto técnico, como lo es, la condición integral del puente y el impacto que podría tener la sustitución únicamente de la losa al resto de la estructura. Desde el punto de vista de conceptualización del proyecto, se considera que estos elementos forman parte de la causa raíz de los deterioros presentados en el puente sobre el río Virilla.

4. La Dirección de Puentes del MOPT determinó y recomendó en agosto del 2009, como alternativa a la losa nueva de concreto que proponía el contrato de concesión, el uso de un piso mixto de rejilla de acero con concreto y que tenía la ventaja de reducción del peso propio que permitía el incremento de la capacidad viva y que por tanto, no requería el refuerzo adicional de vigas y cerchas, sin embargo, en marzo del 2011, con el agravante de la aparición de deterioros prematuros, el MOPT-CONAVI están realizando las gestiones necesarias vía Orden de Modificación N°2 (en trámite) al contrato de instalación, tal como consta en la Orden de Servicio N°5, para el reforzamiento de la estructura, situación que muestra la contradicción del criterio técnico sobre la ventaja efectiva que tuvo la solución de intervención aplicada.
5. El planteamiento de la propuesta, la decisión de la solución de intervención, definición de los términos técnicos del cartel de licitación y las especificaciones técnicas para la intervención definida, tanto para la compra como para la instalación de la rejilla metálica, dependió y se recargó prácticamente en una sola persona y por ende, esto incidió en el avance efectivo de los procesos de contratación así como la efectividad de la solución.
6. En el desarrollo del proyecto de sustitución de la losa del puente sobre el río Virilla, no existieron los estudios preliminares y definitivos, necesarios para la realización de un diseño, tales como inventario de inspección detallada, datos de inspecciones rutinarias, informes de auscultación visual de la condición del puente, evaluaciones de la condición existente del puente, análisis estructural global; elementos de gran utilidad que permiten definir la condición a nivel general de la estructura del puente y a partir de esto tener una base para la toma de decisiones acertadas en la definición de la intervención a realizar.
7. En Costa Rica no se encuentra aun implementado el Sistema de Administración de Puentes, condición que se corrobora con lo emitido por la Contraloría General de la República en el informe No. DFOE-OP-IF-12-2010 de fecha 18 de agosto del 2010; y objetivo principal del estudio



realizado por JICA en el periodo del 2005 al 2007, por lo que no existe planificación en el MOPT-CONAVI para el mantenimiento periódico y rutinario que permita lograr una gestión de administración de puentes de forma integral.

8. La evaluación preliminar de las estructuras de puentes, incluida la del puente sobre el Río Virilla, descritas en el informe del LanammeUCR emitido en el año 2007 *“Evaluación Preliminar Proyecto San José - San Ramón Programa de Trabajo 2006”*, fue una evaluación realizada con un alcance a nivel de red, en donde se informó a través de una auscultación visual el estado preliminar de las estructuras de 13 puentes, por lo que fundamentar una inversión de aproximadamente cuatro millones de dólares en una de las vías más importantes del país, requería de una evaluación a nivel de proyecto detallada. Antes de tomar una decisión de esa magnitud es necesario realizar una inspección detallada del puente que permita conocer el estado de deterioro o de conservación del puente, realización de ensayos complementarios, para posteriormente definir el diseño de la intervención a aplicar en una estructura, la cual en este caso tiene el agravante de no contar con mantenimiento oportuno. Es responsabilidad de la Administración MOPT-CONAVI, a través de un Sistema de Administración de Puentes realizar las inspecciones suficientes para priorizar sus intervenciones.
9. De acuerdo con los datos presentados por la Dirección de Puentes en agosto del 2009, en relación con los factores de clasificación de bastiones y pilas del puente sobre el río Virilla, muestran que era conocido para el MOPT-CONAVI que estos elementos también presentaban una condición crítica de vulnerabilidad ante sismo, por lo que requerían ser reforzados sísmicamente, sin embargo, esto no fue considerado y se intervino únicamente la losa del puente a un costo de \$4 millones de dólares, sin tomar en cuenta que los elementos mencionados anteriormente, eran vulnerables y representan un mayor riesgo ante un eventual colapso. Situación similar se presentó con las vigas, que aun sin considerar la acción sísmica, el factor de clasificación obtenido por el Lanamme en el informe del 2006, mostraba un valor inferior a 0,98; sin embargo, la recomendación de la Dirección de Puentes, consistió en afirmar como ventaja del sistema de rejilla metálica, que esta opción no requería el reforzamiento de vigas y cerchas.
10. El análisis estructural, las revisiones y comprobaciones realizadas a la intervención de la losa del puente sobre el río Virilla, presentado por la Dirección de Puentes, son insuficientes e incompletos, ya que no contempló la consideración de cargas permanentes importantes, como la posible aplicación a futuro de una superficie de rodamientos, el peso del concreto colado en todo el espesor de la rejilla en varias partes de los paneles. Por parte de la Dirección de Puentes no se



verificó el efecto de fatiga sobre la rejilla, se utilizaron esfuerzos de cedencia para el acero mayores que los estipulados por ASTM para la calidad del acero especificada en los planos. La deflexión máxima estimada por carga viva de las vigas simplemente apoyadas, alcanzó un valor de 5,5 cm, según lo determinó la Dirección de Puentes del MOPT que significa ser un 50% mayor que la deflexión máxima permisible del claro de 27,43 m. Esto implica la existencia de elementos flexibles porque permiten deflexiones mayores a las recomendadas en la normativa, que pueden llegar a acarrear problemas de vibración y de fatiga, lo cual pueden llegar a afectar otros componentes del puente y aumentar su deterioro bajo condiciones normales de servicio.

11. La omisión en el diseño estructural al no considerar cargas permanentes importantes significa que no es recomendable que a futuro, bajo las condiciones de diseño actuales del puente, la Administración coloque una superficie de rodamiento, ya que el peso de ésta no se consideró en el diseño, lo que podría comprometer la estabilidad de la estructura.
12. La normativa de diseño AASTHO LRFD 2007 utilizada por la Dirección de Puentes del MOPT en el diseño y verificación de la intervención de la losa del puente sobre el río Virilla fue aplicada parcialmente, ya que de acuerdo con las revisiones realizadas por los expertos técnicos del LanammeUCR, en el diseño de la losa de rejillas metálicas rellena con concreto no se realizó una verificación del artículo 9.5.2, en el que establece la consideración de las deflexiones que podría presentar el puente con este sistema, ni de los artículos 4.6.2.1.8 y 6.5.3 relacionados con la evaluación de la fatiga.
13. No se utilizó para la valoración del grado de deterioro del puente sobre el río Virilla la metodología mencionada en el informe del JICA (2007), para la inspección del estado de los puentes, pese a contar en la Dirección de Puentes del MOPT, con la capacitación necesaria para ejecutar el procedimiento recomendado por JICA.
14. No se realizó un análisis estructural global para verificar la necesidad de reforzar las vigas y cerchas de la superestructura y la subestructura y de esta forma asegurar la eficacia de la inversión realizada, dado que la Dirección de Puentes del MOPT consideró que era una solución equivalente a la sustitución de la losa existente y al reforzamiento mismo de la estructura. Adicionalmente la intervención no contempló la readecuación sísmica de otros elementos de la estructura.



15. Las responsabilidades y obligaciones de la Dirección Ejecutiva del CONAVI y la Dirección de Puentes del MOPT, en materia de puentes, no están claramente definidas dentro de la institución, lo cual genera problemas de comunicación y vacíos importantes en el cumplimiento de las funciones que tiendan a lograr las metas de manera efectiva y oportuna.

12. RECOMENDACIONES

A continuación se indican algunas recomendaciones sobre los hallazgos y observaciones realizadas por el equipo auditor para ser consideradas por la Administración (MOPT-CONAVI) como parte de las acciones de mejora a los proyectos de rehabilitación de puentes:

Al Ministro de Obra Públicas y Transportes:

1. Gestionar la realización de una evaluación global de la capacidad del puente existente sobre el río Virilla, Ruta N°1 tomando en consideración las acciones y solicitudes a las que se verá sometida durante los próximos 25 años, de manera que la solución para resolver la problemática actual del sistema de rejilla, esté debidamente fundamentada técnicamente. Las acciones y solicitudes deben incluir la estimación de Cargas Vivas según la designación HL-93 de AASHTO, consistentes con la importancia del segmento de carretera tanto para carga como para pasajeros para la vida útil remanente. También se deben incluir las acciones y solicitudes debidas a Carga Sísmica para el mismo tiempo de exposición de 25 años.
2. El diseño o intervención de puentes críticos debe estar sometida a la revisión de un Panel Revisor Externo de carácter técnico y nombrado por la Administración, para cualquier caso, por más pequeño que parezca.
3. Valorar lo contemplado por el MOPT en el contrato de concesión del 2004, de manera que se analicen soluciones alternas a la situación que presenta actualmente el puente sobre el Río Virilla-Ruta N°1.
4. Implementar el Sistema de Administración de Puentes desarrollado por el JICA en el 2007, ya que es una herramienta útil que permitirá a la Administración, el uso eficiente de los recursos y conocer los verdaderos daños de los puentes para así proceder a su atención de manera



priorizada y efectiva, tomando en cuenta factores estructurales como aseguramiento de la capacidad de carga y la resistencia sísmica, y funcionales como estudios relacionados con el volumen de tránsito (conteos vehiculares y proyecciones), las condiciones naturales (entender las condiciones del entorno), geológicos, erosión, etc..

5. El MOPT-CONAVI debe asegurar la promoción de procedimientos de contratación claros y precisos que cuenten con todos los requisitos establecidos en la Ley de Contratación Administrativa y su reglamento, donde se expone que es necesario que se realicen los estudios suficientes que demuestren que los objetivos del proyecto de contratación serán alcanzados con eficiencia y seguridad razonable, y de esta forma permitan el desarrollo de procesos eficientes y definidos en tiempo justo.
6. Cumplir con las disposiciones de la Contraloría General de la República emitidas en el informe DFOE-OP-12-2010 de agosto del 2010, relacionado con la Gestión de Administración de Puentes del MOPT, específicamente las disposiciones a), b), c), d) y e) relacionadas con las gestiones organizacionales necesarias para el cumplimiento de las recomendaciones del informe elaborado por JICA en el 2007.
7. Promover la coordinación entre la Dirección Ejecutiva del CONAVI y la Dirección de Puentes del MOPT, con el fin de que se definan las funciones y responsabilidades de las unidades creadas en el MOPT y el CONAVI relacionadas al mantenimiento y rehabilitación de puentes.
8. Es importante implementar el Sistema de Administración de Carreteras en el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, esto de manera consistente con las disposiciones del informe DFOE-OP-14-2007 de Diciembre del 2007 por parte de la Contraloría General de la República. Estas disposiciones son dirigidas tanto al Ministro de Obras Públicas y Transportes, así como al Consejo de Administración del CONAVI. El Sistema de Administración de Carreteras permitiría que se monitoreen las estructuras viales, se identifiquen las necesidades de mantenimiento y específicamente en los puentes, que se realice un análisis de riesgo de las estructuras para así poder realizar las intervenciones necesarias en el tiempo correcto, con el objetivo de no afectar la seguridad y comodidad de los usuarios



9. Promover la capacitación del personal MOPT-CONAVI en materia de puentes, de manera que existan profesionales con la capacidad de realizar una revisión por pares, que permita el escrutinio de los trabajos que se desarrollan en materia de diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento de puentes. Lo anterior para evitar que un proyecto desde su concepción hasta su construcción, dependa del criterio técnico especializado de un solo profesional.

A la Dirección Ejecutiva del CONAVI:

1. Velar para que en un proyecto en donde se presenta una problemática en su desempeño, se determinen previamente las causas reales de dicha problemática, de manera que no se incurran en reparaciones sucesivas que resulten inefectivas, tal como sucedió con la problemática inicial de la junta de expansión del puente sobre el río Virilla.

A la Dirección de Puentes:

1. Disponer u obtener la información completa, suficiente y competente para la realización de diseños estructurales integrales, en los que se contemplen todos los elementos del puente ante una modificación en su estructura para una posterior recomendación de rehabilitación de un puente.
2. En relación con la realización de diseños estructurales:
 - a. Realizar las verificaciones correspondientes a los diseños, de manera que se corrobore la información aportada por el contratista del proyecto.
 - b. Velar por la aplicación cabal de la normativa AASHTO vigente y en toda su extensión para el diseño estructural de puentes, particularmente en el caso de la verificación del artículo 9.5.2, en el que establece la consideración de las deflexiones que podría presentar el puente con este sistema y de los artículos 4.6.2.1.8 y 6.5.3 relacionados con la evaluación de la fatiga.
 - c. Utilizar normativa AASHTO actualizada (última versión aprobada) para realizar los diseños y revisiones necesarias.
3. Impulsar la implementación del Sistema de Administración de Puentes en el MOPT así como promover la capacitación recibida por JICA.



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-55-11

**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA AL
PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA
LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO
VIRILLA, RUTA N°1**

SEGUNDA PARTE
(2/3)

“VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica
Agosto, 2011

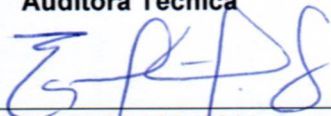

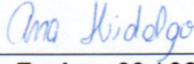
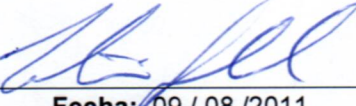
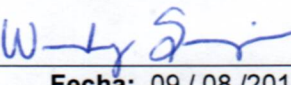
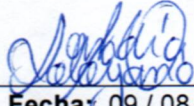
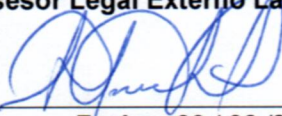
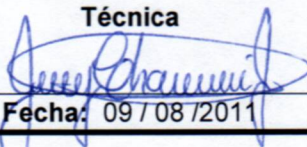
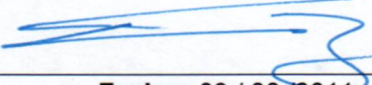
1. Informe LM-PI-AT-55-11		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SUSTITUCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1, PARTE II: VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA.		4. Fecha del Informe Agosto, 2011
5. Organización y dirección Laboratorio 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		
6. Resumen: Los concretos utilizados en el sistema de losa compuesto por rejillas metálicas consistieron esencialmente de dos tipos, uno convencional requerido contractualmente para desarrollar la resistencia de 280 kg/cm ² a los 28 días, el cual fue colado en planta para rellenar las rejillas a media altura, y otro de alta resistencia para ser empleado en sitio para el relleno de las juntas perimetrales de las rejillas y requerido para alcanzar la resistencia de 280 kg/cm ² a las 24 horas. El concreto utilizado cumple con los requisitos de resistencia mínima de 280 kg/cm ² a la apertura del tránsito según lo establecido por la Administración, sin embargo para su uso en rejillas, no se incluyeron en el cartel los requerimientos que establecen los manuales de diseño y construcción de LRFD AASHTO y la Asociación de Rejilleros BGFMA en cuanto a la relación agua cemento y tamaño máximo especificados para este tipo de concretos. Por lo tanto, existieron factores adicionales a la resistencia del concreto, que la Administración debió especificar para el concreto requerido en el proyecto. El análisis estadístico de los resultados de resistencia a la compresión del concreto, emitidos por los laboratorios de control de calidad (CACISA y CEMEX) y de los laboratorios de verificación del MOPT (Central y San Ramón), determina que el concreto convencional cumple el requisito de resistencia de 280 kg/cm ² a los 28 días, mientras que el concreto de alta resistencia muestra que un 14% de los resultados son menores a la resistencia de 280 kg/cm ² a las 24 horas. Sin embargo, al considerar la resistencia a compresión a la fecha de apertura de cada una las etapas en las que se ejecutó el proyecto, el lapso de tiempo transcurrido entre el colado y la finalización de cada una, permitió que los concretos desarrollaran resistencias mayores, sobrepasando el valor contractual de 280 kg/cm ² . No hay evidencia contundente para considerar que algún factor en particular tal como las condiciones de colocación, el método de curado, la contracción y la falta de adherencia del concreto, entre otros, estén provocando los deterioros del concreto, no obstante, no se debe descartar que la suma de diversos factores pueden contribuir al deterioro por la interacción del sistema de rejilla metálica, la estructura del puente y el flujo vehicular.		
7. Palabras clave Puente, losa, rejilla metálica, concreto, resistencia a la compresión, desempeño	8. Nivel de seguridad: Ninguno	9. Núm. de páginas 90
10. Preparado por:		
Ing. Raquel Arriola Guzmán Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 2011	Ing. Víctor Cervantes Calvo Auditor Técnico  Fecha: 09 / 08 / 2011	Ing. Ana Hidalgo Arroyo Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 2011
Ing. Mauricio Salas Chaves Auditor Técnico  Fecha: 09 / 08 / 2011	Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 2011	Ing. Sandra Solórzano Murillo Auditora Técnica  Fecha: 09 / 08 / 2011
11. Revisado por:		12. Aprobado por:
Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR  Fecha: 09 / 08 / 2011	Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng Coordinador Unidad de Auditoría Técnica  Fecha: 09 / 08 / 2011	Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 09 / 08 / 2011

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE GRÁFICOS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	8
1. FUNDAMENTACIÓN	11
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	11
3. ANTECEDENTES	12
3.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO	12
3.2 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE AUDITORÍA TÉCNICA	12
3.3 AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-AT-55B-11	13
4. ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME	14
4.1 OBJETIVO GENERAL DEL INFORME.....	14
4.2 ALCANCE GENERAL DEL INFORME	15
5. INFORME SEGUNDA PARTE: “VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”	15
5.1 OBJETIVO GENERAL	15
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
5.3 ALCANCE ESPECÍFICO	16
6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	16
6.1 INFORMACIÓN GENERAL	16
6.2 ALCANCE DEL PROYECTO.....	17
7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR.....	18
8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	18
9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	18
10. TERMINOLOGÍA SOBRE LOS TIPOS DE CONCRETO UTILIZADO EN EL PROYECTO	19

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 3 de 90
---------------------------	--------------------------------------	----------------



11. SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL PROYECTO.....	21
11.1 REQUERIMIENTOS CONTRACTUALES.....	21
11.2 CONTROL DEL CONCRETO DURANTE LA OBRA.	22
11.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS APLICADOS POR LANAMMEUCR.....	24
11.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTROL Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD PARA EL CONCRETO CONVENCIONAL.	25
11.4.1 <i>Análisis general de resistencia a la compresión por edad</i>	26
11.4.2 <i>Análisis general de resistencia a la compresión por mes</i>	27
11.4.3 <i>Análisis global de la resistencia a la compresión del concreto convencional</i>	30
11.4.4 <i>Análisis de la resistencia a la compresión del concreto convencional según fecha de apertura</i> ..	31
11.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONTROL Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.....	33
11.5.1 <i>Análisis general de resistencia a la compresión por edad</i>	34
11.5.2 <i>Análisis general de resistencia a la compresión por mes</i>	35
11.5.3 <i>Análisis general de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia</i>	37
11.5.4 <i>Análisis de la resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia según fecha de apertura</i>	38
11.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO CONVENCIONAL EXTRAÍDOS DE LA LOSA DE REJILLA METÁLICA RELLENA CON CONCRETO, POR CACISA Y LANAMMEUCR	40
11.6.1 <i>Análisis de resistencia a la compresión de núcleos extraídos por CACISA</i>	41
11.6.2 <i>Análisis de núcleos extraídos por LanammeUCR</i>	42
11.7 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	44
11.7.1 <i>Criterios para el diseño y evaluación del concreto</i>	44
11.7.2 <i>Criterios para la evaluación estadística y pago en función de la calidad</i>	46
12. SOBRE LAS ESPECIFICACIONES PARA EL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE REJILLA	51
12.1 CARTEL DE LICITACIÓN PARA LA COLOCACIÓN DE LAS REJILLAS METÁLICAS	51
12.2 ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE PISOS DE REJILLA PARA PUENTES (BGFMA)	52
12.3 MANUAL PARA DISEÑO DE PUENTES AASHTO	53
12.4 MANUAL PARA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES AASHTO	54
12.5 PRODUCTOR DE LAS REJILLAS METÁLICAS LBFOSTER.....	55
12.6 ANÁLISIS GENERAL	55



13. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL CONCRETO Y SU INFLUENCIA EN EL DESEMPEÑO DURANTE LA ETAPA DE SERVICIO	58
13.1 REQUISITOS FUNCIONALES	58
13.2 ANÁLISIS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA FORMULADOS PARA EL PROYECTO	59
13.2.1 <i>Materiales que componen el concreto</i>	59
13.2.2 <i>Relación Agua/Cemento</i>	66
13.2.3 <i>Relación Agregado Grueso/Agregado Fino (AG/AF)</i>	68
13.2.4 <i>Síntesis de los diseños de mezcla formulados para el proyecto</i>	68
13.3 SOBRE EL DESEMPEÑO DEL CONCRETO	69
13.3.1 <i>Condiciones de colocación del concreto</i>	69
13.3.2 <i>Condiciones de curado del concreto</i>	71
13.3.3 <i>Contracción del concreto</i>	72
13.3.4 <i>Adherencia concreto-acero</i>	72
13.3.5 <i>Abrasión del concreto</i>	73
13.3.6 <i>Durabilidad del concreto</i>	73
13.3.7 <i>Estados de esfuerzos en el concreto</i>	74
14. CONCLUSIONES	76
14.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CONVENCIONAL	76
14.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ALTA RESISTENCIA	77
14.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS DE CONCRETO EXTRAÍDOS	77
14.4 ESPECIFICACIONES CARTELARIAS	77
14.5 DISEÑOS DE MEZCLA	78
14.6 DESEMPEÑO DEL CONCRETO	79
15. RECOMENDACIONES	79
16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
17. ANEXOS	82



Índice de Tablas

Tabla 1. Resumen de criterios para clasificación de concretos.....	19
Tabla 2. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión.....	23
Tabla 3. Resumen de análisis de frecuencias para la evolución de la resistencia del concreto convencional.....	26
Tabla 4. Índices de calidad para resultados de resistencia del concreto convencional	48
Tabla 5. Edad y resistencia del concreto convencional a la fecha de apertura al tránsito.	32
Tabla 8. Resumen de análisis de frecuencias para concreto de alta resistencia a edad temprana.....	34
Tabla 9. Índices de aceptación para resultados de resistencia del concreto de alta resistencia	49
Tabla 10. Edad y resistencia del concreto de alta resistencia a la fecha de apertura al tránsito.	39
Tabla 6. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por CACISA.	41
Tabla 7. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por LanammeUCR.....	43
Tabla 11. Especificaciones cartelarias referentes al concreto a utilizar en el proyecto.....	52
Tabla 12. Características de la mezcla de concreto, por clase.	54
Tabla 13. Clasificación del concreto peso normal.....	54
Tabla 14. Resumen de especificaciones requeridas para sistemas de piso de rejillas metálicas.	56
Tabla 15. Resumen de los diseños de mezcla utilizados en el proyecto.	59
Tabla 16. Resumen de análisis granulométrico, agregado grueso.....	60
Tabla 17. Resumen de análisis granulométrico, agregado fino.....	61
Tabla 18. Caracterización física de los agregados gruesos utilizados en los concretos.....	62
Tabla 19. Caracterización física de los agregados finos utilizados en los concretos.	63
Tabla 21. Resumen de aditivos utilizados en la losa del puente.	66
Tabla 22. Comparación de resistencias con respecto a las relaciones a/c.....	67



Índice de Gráficos

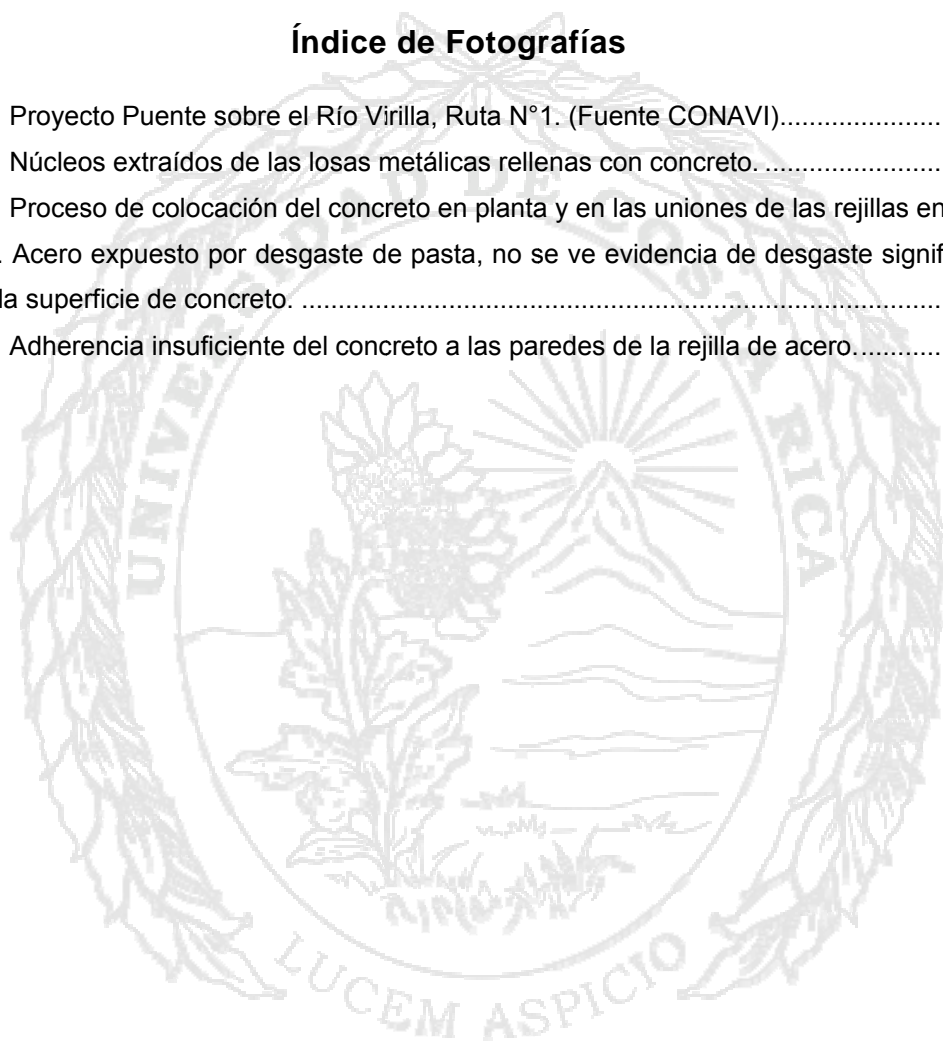
Gráfico 1. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto convencional. Dic-2010.....	28
Gráfico 2. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto convencional. Ene-2011.....	29
Gráfico 3. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto convencional. Feb-2011.....	30
Gráfico 4. Resumen global de resultados de resistencia a la compresión del concreto convencional.	31
Gráfico 5. Curva promedio de la resistencia a la compresión del concreto convencional y su respectiva dispersión.....	33
Gráfico 6. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia. Ene-2011.....	36
Gráfico 7. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia. Feb-2011.....	37
Gráfico 8. Resumen de resultados de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia....	38
Gráfico 9. Curva promedio de compresión de alta resistencia y su respectiva dispersión.....	39
Gráfico 10. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por CACISA aproximadamente a los 30 días de colado del concreto.....	42
Gráfico 11. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por LanammeUCR aproximadamente a los 90 días de colado del concreto.....	44
Gráfico 12. Curva de distribución normal de los resultados del concreto convencional reportados por Cacisa a 28 días.....	48
Gráfico 13. Curva de distribución normal del total de resultados del concreto de alta resistencia a 24 horas.....	50

Índice de Figuras

Figura 1. a) Valor límite coincide con valor meta y valor límite es inferior que el valor meta.....	45
Figura 2. Efecto de la relación a/c en la resistencia a la compresión	67
Figura 3. Comportamiento de la densidad óptima de combinaciones de agregado grueso y fino.....	68
Figura 4. Fases de deterioración del concreto producto del aplastamiento.	75

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Proyecto Puentes sobre el Río Virilla, Ruta N°1. (Fuente CONAVI).....	10
Fotografía 2. Núcleos extraídos de las losas metálicas rellenas con concreto.	65
Fotografía 3. Proceso de colocación del concreto en planta y en las uniones de las rejillas en sitio. ..	70
Fotografía 4. Acero expuesto por desgaste de pasta, no se ve evidencia de desgaste significativo por abrasión de la superficie de concreto.	71
Fotografía 5. Adherencia insuficiente del concreto a las paredes de la rejilla de acero.....	73



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA INTERVENCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1 CONTRATACIÓN DIRECTA No. 2010CD-000128-DI SEGUNDA PARTE: VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA		
<u>PROCESO DE COMPRA DE REJILLA</u> Monto original del contrato: \$2.327.785,00 Plazo original de ejecución: 100 días naturales		
<i>REPRESENTANTES ADMINISTRACIÓN</i> Departamento encargado de la definición del material a adquirir y sus especificaciones: Dirección de Puentes, MOPT Departamento encargado de la preparación del cartel de licitación y evaluación técnica-económica de ofertas: Gerencia de Contratación de Vías y Puentes, CONAVI		
<i>REPRESENTANTES CONTRATISTA</i> Proveedor de rejilla metálica: Corpac Steel Products, Corp. Fabricante de rejilla metálica: LB Foster Fabricated Products		
<u>PROCESO DE INSTALACIÓN DE REJILLA</u> Monto original del contrato: ¢861.576.352,69 Plazo original de ejecución: 90 días naturales Orden de inicio: 15 de Diciembre del 2010		
<i>REPRESENTANTES ADMINISTRACIÓN</i> Departamento encargado del diseño del proyecto: Dirección de Puentes, MOPT Departamento encargado de la supervisión de la construcción del proyecto: Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, CONAVI Departamento encargado de la verificación de la calidad: Laboratorio de Geotecnia y Materiales del MOPT, Laboratorio del MOPT sede San Ramón, Departamento de Calidad de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, CONAVI.		
<i>REPRESENTANTES CONTRATISTA</i> Empresa contratista: Soares da Costa, Construcciones Centroamericanas S.A. Laboratorio de control de calidad: CACISA, Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Proveedor de concreto: CEMEX, Costa Rica Aseguramiento de la Calidad: Organismo ensayo de CEMEX.		
<u>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</u> Actividad: sustitución de la losa maciza de concreto por losa de rejilla metálica Lugar: Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1 Longitud del puente: 160 metros Cantidad de rejillas a colocar: 408 unidades, según contrato.		

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
INTERVENCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1
CONTRATACIÓN DIRECTA No. 2010CD-000128-DI
SEGUNDA PARTE: VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA

Objetivo:

Realizar una evaluación de la gestión técnica de la Administración MOPT-CONAVI en lo referente a los procesos de diseño, proceso constructivo y control de calidad del concreto incorporado en la rehabilitación del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.

Alcance del informe:

Análisis de los resultados de la evaluación del control de calidad de los materiales que conforman el concreto y revisión de las especificaciones señaladas por diferentes entidades referentes de puentes. Adicionalmente, se evalúan consideraciones generales de los comportamientos característicos del concreto que pueden influir en el desempeño de la losa del puente en servicio.

Ubicación de la ruta auditada:



Fotografía 1. Proyecto Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1. (Fuente CONAVI)



1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la ley 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 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.” (El subrayado no es del texto original).

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.

Se pretende que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se conceptualizó, evaluó y se definió la solución, así como la forma en la que se desarrolló este proyecto de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben mejorar tanto en este proyecto como en la intervención inminente en el sistema de puentes de la red vial para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de planteamiento y valoración insuficiente de soluciones, atrasos en el proceso licitatorio, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles, entre otros, de modo que se procure siempre una calidad esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y en las que se justifique la inversión realizada.



3. ANTECEDENTES

3.1 Antecedentes del Proyecto

A mediados del mes de abril de 2009, la losa del puente sobre el río Virilla comienza a mostrar un deterioro en la junta de expansión, en el sentido San José Alajuela, localizada entre el segundo tramo de vigas y el tramo de cercha metálica. El CONAVI empleó diversas técnicas de intervención y reparaciones en dicha junta las cuales no tuvieron los resultados esperados, continuando este problema durante un lapso de 4 meses.

Este hecho apresuró la intervención de la losa en el puente, que a criterio de diferentes ingenieros mostraba un alto grado de deterioro, lo que provocaba la urgencia de la actuación. Debido a esto, se planteó la remoción y sustitución de la losa existente por un sistema de losa conformado por rejillas metálicas rellenas con concreto.

3.2 Antecedentes del Estudio de Auditoría Técnica

Dada la importancia que tiene la Ruta Nacional N°1 para el país, el interés de participación del LanammeUCR en el análisis de la intervención de la rehabilitación propuesta por el MOPT para el puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, fue generado y comunicado a dicha institución en setiembre del 2010, previo al inicio de la puesta en marcha de la ejecución de la intervención de la losa del puente, es decir antes del 15 de diciembre del 2010, fecha en que se dio la orden de inicio de este proyecto.

De conformidad con el plan de trabajo del LanammeUCR y bajo el marco de competencias que le asigna el artículo 6 de la Ley 8114 en materia de asesorías técnicas profesionales, fue remitido el oficio LM-IC-D-1105-10 de fecha 10 de setiembre de 2010, suscrito por el Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR y dirigido a la Ing. María Lorena López, Viceministra de Infraestructura y Concesiones del MOPT, mediante el cual se le solicitara información referente al proyecto de rehabilitación del puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1. Específicamente, mediante el referido oficio, se le solicitó el cartel de licitación correspondiente al proyecto de intervención de cita. Lo anterior con la finalidad de proceder con los análisis correspondientes a la intervención propuesta para el puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1.

No obstante lo anterior, en razón de no recibir respuesta a la solicitud planteada mediante el oficio ya citado, se remite un segundo oficio por parte del Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR; específicamente el oficio LM-IC-D-1458-10, de fecha 26 de noviembre de 2010. En éste se indica que el estudio, con carácter de asesoría preventiva, cuyo objetivo principal hubiese versado sobre el impacto que tenía la sustitución de la losa en el comportamiento global del puente, no podría ser llevado a cabo por no contarse con la información solicitada.

En febrero del 2011, posterior al proceso constructivo de la losa de rejilla metálica y en virtud de la problemática presentada en la losa del puente, mediante el oficio DMOPT-1384-11 de fecha 9 de marzo del 2011 emitido por el Señor Ministro, Ing. Francisco Jiménez Reyes y dirigido a Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR, quien solicita: *“el criterio experto y la realización de los estudios pertinentes a efectos de determinar a qué obedecen los problemas apuntados, ampliamente divulgados por la prensa nacional, medidas correctivas a implementar e incluso la determinación de*

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 12 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------



eventuales responsabilidades por deficiencias en el diseño, el proceso constructivo y/o calidad de los materiales”.

Atendiendo la solicitud del Ministro Francisco Jiménez Reyes y al analizar los términos de la solicitud dentro de un proceso de ejecución de un contrato de un proyecto concluido, se le indica a través del oficio LM-IC-D-283-2011 del 15 de marzo del 2011 emitido por el Ing. Alejandro Navas Carro, que considerando la importancia que tiene este puente para el país y de conformidad con las potestades que los artículos 5 y 6 de la Ley 8114 le confieren al LanammeUCR, se considera oportuno realizar una Auditoría Técnica a este proyecto.

Así las cosas, se da inicio al proceso de Auditoría Técnica al proyecto de intervención de la sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1 que da origen al presente informe.

3.3 Audiencia a la parte auditada para análisis del informe preliminar LM-AT-55B-11

Como parte de los procedimientos de Auditoría Técnica y en lo referente a la remisión del informe preliminar, el día 6 de julio del 2011 se brindó audiencia a la parte auditada, mediante la presentación y entrega del informe preliminar LM-AT-55B-11 mediante oficio LM-IC-D-780-2011. En esta audiencia participaron por parte del área auditada: el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes, la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones y el Ing. Carlos Acosta Monge, Director Ejecutivo del CONAVI y el Ing. Jorge Gutiérrez Gutiérrez PhD; por parte del LanammeUCR, el Ing. Alejandro Navas Carro, MSc, Director, Ing. Guillermo Loría Salazar PhD, Coordinador de PITRA, Ing. Guillermo Santana Barboza PhD e Ing. Rolando Castillo Barahona PhD, como expertos técnicos en Ingeniería Estructural, el Ing. Jorge Arturo Castro Herrera y parte del equipo auditor encargado del desarrollo del informe, a saber, Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica, Ing. Raquel Arriola Guzmán, Ing. Víctor Cervantes Calvo y el Ing. Mauricio Salas Chaves.

En igual forma y como parte de los procedimientos de auditoría antes mencionados, una vez que la parte auditada brindó las observaciones que consideraron oportunas al informe preliminar, corresponde la elaboración del informe final LM-AT-55-11 constituido por tres partes, y para tales efectos, se consideraron dentro del análisis respectivo los siguientes oficios:

1. DMOPT-4324-11 del 12 de julio 2011, emitido por el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes
2. DVI-1119-11 del 13 de julio 2011 emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones
3. LM-IC-D-829-11 del 15 de julio 2011 emitido por el Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR.
4. DMOPT-4503-11 del 19 de julio 2011, emitido por el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes
5. DVI-1151-11 del 13 de julio 2011, recibido en el LanammeUCR el 22 de julio 2011, emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones
6. DMOPT-4641-11 del 26 de julio 2011, emitido por el Ing. Francisco Jiménez Reyes, Ministro de Obras Públicas y Transportes, en el que se adjuntan los siguientes oficios:

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 13 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------



- a. DVI-1159-11 del 26 de julio 2011 emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones
- b. 2011453 del 26 de julio 2011 emitido por la Ing. María Ramírez González, Directora de Puentes, MOPT
- c. DIE-01-11-2658 del 22 de julio 2011 emitido por el Ing. Carlos Acosta Monge, Director Ejecutivo del CONAVI

Los oficios 2011453 del 26 de julio de 2011 emitido por la Ing. María Ramírez González, Directora de puentes, MOPT-DIE-01-11-2658 del 22 de julio de 2011 emitido por el Ing. Carlos Acosta Monge, Director Ejecutivo del CONAVI y el DVI-1119-11 de fecha 13 de julio de 2011 emitido por la Ing. María Lorena López Rosales, Viceministra de Infraestructura y Concesiones; corresponden a los comentarios de la parte auditada al informe preliminar de Auditoría Técnica. Los aspectos estrictamente profesionales, técnicos y legales contenidos en los referidos oficios fueron analizados de manera detallada y con estricto apego a los criterios técnicos, ello en el marco de la objetividad, independencia y transparencia que rigen en el ámbito de auditoría técnica y a la rigurosidad profesional que caracteriza a los funcionarios del LanammeUCR. Así mismo, es importante resaltar que toda consideración de orden calificativo y subjetivo que como tal, no inciden en el contenido del informe por no guardar relación con aspectos de orden profesional técnico o legal, contenido en los oficios de cita, no son considerados para la emisión del presente informe de Auditoría Técnica.

4. ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME

El informe de “Auditoría Técnica al Proyecto de Intervención de la Losa del Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1” está constituido por tres partes, en cada una de ellas se examina un tema específico relacionado con el proceso de compra e instalación de la rejilla metálica y la remoción de la losa existente. Cada parte, que constituye un informe individual, está titulada de la siguiente manera:

- Primera parte: “Conceptualización del proyecto”
- Segunda parte: “Valoración del concreto utilizado en el sistema de rejilla metálica”
- Tercera parte: “Desempeño funcional y estructural del sistema de rejilla metálica”

A continuación se detalla el objetivo general y el alcance general del informe de Auditoría Técnica LM-AT-55-11.

4.1 Objetivo general del informe

Realizar una evaluación de la gestión técnica en lo referente a los procesos de conceptualización del proyecto, diseño, proceso constructivo y control de calidad del concreto incorporado en la rehabilitación del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.



4.2 Alcance general del informe

El alcance de esta Auditoría Técnica abarcó el análisis de la gestión técnica del proyecto en cuanto a la verificación de los estudios preliminares que dieron origen a la solución propuesta, revisión del diseño planteado, control de calidad de los materiales incorporados así como mediciones complementarias para evaluar el desempeño del tablero de rejilla metálica del puente en servicio. Dado que el presente informe es el producto de un procedimiento de Auditoría Técnica, desarrollado en el marco de las competencias asignadas en el artículo 6 de la Ley 8114 al LanammeUCR, se establece fuera de su alcance la realización de inspecciones o evaluaciones conducentes a determinar la condición de conservación actual del puente así como el análisis estructural global de la estructura que contemple la modelación estructural ó evaluación de capacidad sísmica del puente. Además no se realizó auscultación de la condición existente de la subestructura (pilas, bastiones y sus respectivas cimentaciones), ni de la superestructura del puente (tipo armadura). Se considera que estas labores son actividades propias de la Administración y que para su ejecución efectiva, deben formar parte de un plan de rehabilitación completo, suficiente y competente, que incluya los recursos necesarios para tales fines.

El informe de Auditoría Técnica es un insumo para la Administración, el cual se puede utilizar para implementar acciones que encaminen al mejoramiento, desde el punto de vista técnico ingenieril, de la planificación en la generación de proyectos, elaboración de diseños y estudios básicos, así como los respectivos procedimientos de contratación empleados para el desarrollo de obras viales y que a la vez faciliten el señalamiento, por parte de la Administración, de las responsabilidades correspondientes ante posibles incumplimientos y/o deficiencias señaladas en el presente informe.

5. INFORME SEGUNDA PARTE: “VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”

El presente informe atañe a la SEGUNDA PARTE, relacionado con la valoración estadística de los resultados de la resistencia a la compresión de los tipos de concreto utilizados en el sistema de rejilla metálica, así como el nivel de calidad del producto final. Además, se contrastaron las especificaciones establecidas en el cartel de licitación con requisitos señalados por diferentes entidades referentes de puentes. Por último, se evaluó la influencia en el deterioro del concreto producto de los comportamientos característicos del concreto durante las etapas de colocación, compactación y conformación.

5.1 Objetivo general

El presente informe, tiene como objetivo realizar una evaluación de la gestión técnica de la Administración MOPT-CONAVI en lo referente a los procesos de diseño, proceso constructivo y control de calidad del concreto incorporado en la rehabilitación del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 15 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------



5.2 Objetivos específicos

1. Analizar el cumplimiento contractual de los resultados de resistencia a la compresión del concreto convencional utilizado en el relleno de las rejillas metálicas coladas en planta.
2. Analizar el cumplimiento contractual de los resultados de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia utilizado en las juntas perimetrales del sistema de losa compuesta de rejillas metálicas coladas en sitio.
3. Analizar el cumplimiento de los resultados de resistencia a la compresión de los concretos utilizados en el proyecto a la fecha de apertura al tránsito.
4. Aplicar metodologías estadísticas de evaluación para determinar los índices de calidad y la variabilidad del proceso productivo.
5. Comparar las especificaciones establecidas en el cartel de licitación para el sistema de losa compuesta por rejilla metálica con características requeridas por entidades referentes de puentes.
6. Valorar el cumplimiento de requisitos y la calidad de los materiales componentes del concreto reportados en los diseños de mezcla, de acuerdo con lo establecido en las normas de referencia.
7. Evaluar si núcleos de concreto muestran fenómenos tales como segregación, contracción, sangrado, entre otros, y si tuvieron influencia en el desempeño del concreto durante el periodo de servicio.

5.3 Alcance específico

El alcance de este informe comprendió el análisis de los resultados de la evaluación del control de calidad de los materiales que conforman el concreto y revisión de las especificaciones señaladas por diferentes entidades referentes de puentes. Adicionalmente, se evalúan consideraciones generales de los comportamientos característicos del concreto que pueden influir en el desempeño de la losa del puente en servicio.

Los análisis incluidos en este informe se fundamentan en los resultados de ensayo aportados en la documentación entregada durante este proceso de auditoría de todos los laboratorios que emitieron reportes en el proyecto. El estudio formal de esta auditoría inicia a partir de la solicitud efectuada por el señor Ministro en oficio DMOPT-1384-11 de fecha 9 de marzo del 2011, una vez concluidas las obras en el tablero del puente, por lo que no se tuvo a la vista los procesos constructivos ni las prácticas de colado, colocación, vibración y curado realizadas en el concreto ni se pudieron obtener posteriormente muestras representativas del concreto producido para este proyecto, con el fin de efectuar una investigación y análisis con mayor profundidad del concreto.

6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

6.1 Información General

Esta intervención consistió en dos etapas claramente establecidas, iniciando con el proceso de licitación para la compra de las unidades de rejillas metálicas y la posterior contratación directa para la demolición de la losa existente e instalación del sistema de rejillas metálicas.

La rejilla metálica se adquirió del fabricante de rejillas LB Foster, mediante el proveedor Corpac Steel Products, Corp., seleccionado durante el proceso de licitación de compra promovido por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del CONAVI.

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 16 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------



En tanto, la empresa Soares da Costa fue la adjudicataria del proceso de contratación directa para la instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el río Virilla. Esta empresa contrató a la Cementera CEMEX para suplir el concreto requerido para este proyecto. Las actividades de colado del concreto se realizaron en dos sitios, a saber el concreto colado para el relleno de las rejillas metálicas a media altura se realizó en el plantel de CEMEX, mientras que el colado de las juntas perimetrales de las uniones de las rejillas metálicas se llevó a cabo en el sitio de obra.

La actividad de supervisión durante la etapa de demolición de la losa, construcción e instalación del sistema de rejillas, le correspondió a la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes del CONAVI, quien contó con el apoyo del Laboratorio de Geotecnia y Materiales del MOPT, el Laboratorio del MOPT, sede San Ramón y la Departamento de Calidad adscrito a dicha gerencia, para la realización de los ensayos al concreto.

Por su parte, la empresa Soares da Costa, contó con los servicios del Laboratorio de CACISA para ejecutar las actividades de control de calidad durante la etapa constructiva. Mientras que la empresa productora CEMEX realizó su propio proceso de control de calidad del concreto fabricado y despachado a ambos sitios de colado.

El proceso de colocación de las rejillas se desarrolló en 4 etapas, abarcando inicialmente los carriles internos en cada uno de los sentidos San José-Alajuela, Alajuela-San José y finalizando con la colocación de los carriles externos y acera de paso peatonal. Cabe indicar que conforme cada una de las etapas se concluía, era inmediatamente puesta en servicio para la circulación del tránsito. Una vez abierto al público, en un lapso de 7 días se evidenció un proceso de deterioro acelerado en el concreto colado en las rejillas a media altura, el cual fue reportado a través de los medios de comunicación, lo que motivó la solicitud del señor Ministro del MOPT y se atiende mediante esta auditoría.

6.2 Alcance del proyecto

De acuerdo con el cartel de licitación para la compra de la rejilla metálica, se adquirieron para sustitución de la losa 272 rejillas metálicas de 2,43m x 3,66m y 136 rejillas de 2,43m x 2,43m. Adicionalmente, se compraron 68 rejillas de 2,43m x 2,62m, las cuales serían utilizadas para el carril provisional planteado en la programación constructiva. Estas rejillas finalmente no fueron empleadas en la fase constructiva de la sustitución de la losa, tal como se había planificado.

En cuanto a la instalación de la rejilla metálica para la rehabilitación de este puente, el cartel de licitación definió las siguientes actividades:

- a. Control de tránsito en el puente 24 horas durante el período de intervención de la losa.
- b. Prefabricación de rejillas y de barandas definitivas en planta.
- c. Demolición de losa existente.
- d. Conexiones entre vigas de piso-rejillas.
- e. Instalación de rejillas y colado de las juntas perimetrales entre las mismas e instalación de 5 juntas de expansión.



- f. Acabados: instalación de barandas definitivas, las vehiculares serán de elementos prefabricados de concreto tipo New Jersey y las peatonales prefabricadas serán de acero estructural pintadas acorde con especificaciones AASHTO. Señalamiento horizontal.
- g. Apertura al tránsito.

Con relación a los roles ejercidos por cada una de las partes involucradas en el proyecto, se determina que el proceso de compra de rejillas y supervisión de la construcción estuvo a cargo del CONAVI; la elaboración del diseño y los planos constructivos del puente fueron responsabilidad de la Dirección de Puentes del MOPT. El suministro de todos los materiales, equipo, mano de obra y actividades constructivas necesarias para la realización de los trabajos de rehabilitación de la losa serían cubiertos por el contratista.

7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR

- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng. (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas);
- Ing. Mauricio Salas Chaves (Auditor Técnico)
- Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Raquel Arriola Guzmán (Auditora Técnica);
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc, (Auditora Técnica);
- Ing. Ana Hidalgo Arroyo (Auditora Técnica);
- Ing. Sandra Solórzano Murillo (Auditora Técnica);
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)
- Ing. Guillermo Santana Barboza, PhD, (Experto Técnico)
- Ing. Ana Monge Sandí, MSc, (Experta Técnica)
- Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD, (Experto Técnico)

8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Entre las limitantes que se presentaron en este estudio de auditoría, se encuentra que para realizar una evaluación integral de la condición existente del puente se requerían efectuar mediciones e inspecciones en sitios específicos del puente donde el acceso era difícil, lo cual ameritaba un despliegue considerable de recursos y tiempo, por lo cual dicha mediciones únicamente se limitaron a aquellas zonas donde el acceso era factible.

Además se debe considerar que la información analizada correspondió a los documentos aportados por los auditados así como aquella información que se tuvo a la vista durante la recopilación de la documentación en los diferentes despachos visitados por el equipo auditor. Por otra parte la Administración remitió de manera tardía parte de la información requerida, razón por la que se tuvieron que enviar diversos recordatorios para la adquisición de la misma.

9. 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.

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 18 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------



Se entiende como hallazgo de auditoría un hecho que hace referencia a una normativa o bien, a algún documento contractual; ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, las observaciones 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. 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.

Es importante aclarar que la toma de muestras o mediciones realizadas en el proyecto por parte de la Auditoría Técnica, no pretende ser control ni verificación de calidad y que tampoco le compete realizar evaluaciones a nivel de proyecto que son de competencia propia de la Administración.

La Auditoría Técnica es un mecanismo externo e independiente cuyo fin es determinar si la inversión se está realizando eficientemente, así como un mecanismo para la propia Administración de obtener insumos de mejora en futuros proyectos viales.

Las fotografías que muestran las condiciones que se incluirán en el informe, corresponden al día de la visita, estas condiciones pueden variar en el tiempo debido a la evolución del deterioro que el proyecto presente o incluso a acciones y/o reparaciones efectuadas a posteriori en el proyecto.

10. TERMINOLOGÍA SOBRE LOS TIPOS DE CONCRETO UTILIZADO EN EL PROYECTO

Con el fin de homologar los diferentes términos referentes a los concretos utilizados en este proyecto y mencionados en los siguientes apartados, se realiza una descripción general de las propiedades fundamentales que los caracterizan.

Existen diversas definiciones sobre las características para clasificar el concreto convencional, alto desempeño y alta resistencia estableciendo diferentes criterios de evaluación, sin embargo no hay coincidencia en un criterio específico para diferenciarlos categóricamente ó requisitos especiales de desempeño y uniformidad. La Tabla 1 resume algunos valores y criterios relevantes que se utilizan para clasificar los concretos mencionados.

Tabla 1. Resumen de criterios para clasificación de concretos

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 19 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------

Características	Tipo de concreto				
	Convencional	Alto Desempeño			
		SHRP	Neville	Aitcin	PCI
Resistencia a la compresión, kg/cm ² a 28 días	280	700	800	750	550
Relación agua/cemento	0,50 a 0,70 ^a	< 0,35	< 0,35	< 0,40	< 0,38

Fuente:^aAitcin

A continuación se detallan las características propias de cada tipo de concreto:

- **Concreto convencional:** son aquellos que tienen resistencias a la compresión entre un valor de 280 kg/cm² llegando incluso a valores hasta de 500 kg/cm² y relaciones agua cemento entre 0,50 y 0,70.
- **Concretos de alto desempeño:** se definen con resistencias a la compresión mayores a 550 kg/cm² y relaciones agua cemento entre 0,35 y 0,40. Cabe destacar que estos concretos están compuestos de esencialmente los mismos materiales que un concreto convencional, pero con proporciones diseñadas para mejorar alguna característica en particular del desempeño del concreto, de acuerdo con los requerimientos estructurales y medioambientales del proyecto.
- **Concreto de alta resistencia:** típicamente se cataloga dentro de los concretos de alto desempeño y se definen con valores menores a 0,40 de la relación agua/cemento y resistencia a la compresión superior a 700 kg/cm².

11. SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL PROYECTO

11.1 Requerimientos Contractuales.

El Cartel de Licitación No.2010CD-000128-0DI00: "Instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el Río Virilla en la Autopista General Cañas, Ruta Nacional No.1" en el Apartado 34.11 establece las especificaciones técnicas referentes al concreto hidráulico a utilizar en el proyecto:

"34.11). Concreto

a) Condiciones generales.

Bajo esta partida, el contratista suministrará todos los materiales, mano de obra y equipo necesarios para el relleno de las rejillas a media altura en planta y el colado de las juntas perimetrales en campo, que incluyen la integración de las barandas peatonales y vehiculares...

b) Fabricación del concreto para las juntas coladas en sitio.

En planta industrial se dosificarán los materiales de la mezcla, el cemento y el aditivo súper plastificante con poder acelerante para incrementar la resistencia del concreto a edades tempranas, sin influencia negativa sobre la resistencia final y se transportará la mezcla desde la planta hasta el sitio del puente.

c) Resistencia del concreto.

El hormigón estructural de la losa será Clase B, con resistencia mínima a la compresión de 280 (doscientos ochenta) kg/cm² a los 28 (veintiocho) días, el diseño de la mezcla deberá considerar que ésta, permita el bombeo, con cemento "extra fino" y con la adición del aditivo tipo SIKAMENT H.E 200 (súper plastificante con poder acelerante que promueve la rápida ganancia de resistencia del concreto a edades tempranas sin influencia negativa sobre la resistencia final) o similar. (El subrayado no es del texto original)."

Requiere considerar que estas especificaciones describen características generales del concreto que se iba a utilizar en el proyecto, derivándose de dicha descripción un tipo de concreto que desarrolle la resistencia requerida de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días (concreto convencional). En contraste, se solicita además la incorporación de un aditivo súper plastificante para promover la resistencia indicada a edades tempranas, sin embargo, la elaboración de un concreto de alta resistencia no se especifica claramente en dicho inciso. Adicionalmente, se definen dos usos del concreto, uno para el relleno de las rejillas a media altura en planta y el otro para el colado de las juntas perimetrales en campo. Dicha descripción del concreto es imprecisa debido a que no define claramente aspectos como:

- la adición de súper plastificante en el concreto a usar en el relleno de las rejillas en planta.
- la edad a la que se deben elaborar los diseños de mezcla y por ende el tipo de concreto a fabricar (convencional o de alta resistencia).

Posteriormente durante el periodo de recepción de ofertas, se realizaron diversas consultas sobre el sistema constructivo de rejilla rellena con concreto, entre las cuales se planteó la aclaración sobre el uso de aditivos que permitieran el control de contracciones del concreto, la Dirección de Ingeniería de CONAVI en el oficio DII-10-10-2549 manifestó que:

"La administración solicita que para el momento que se habilite nuevamente el tránsito se garantice una resistencia mínima del concreto de 280 kg/cm², es decir, que 24 horas de colada la mezcla se obtenga dicha resistencia, tal y como se indica en el inciso c del apartado 34.11 del cual se consulta, por tanto le corresponderá al contratista determinar el uso y aplicación de uno o más aditivos para lograr este fin".



Para el presente informe se utilizan los Manuales AASHTO LRFD de Diseño y Construcción de Puentes y otras normas internacionales para establecer parámetros de comparación para valorar la calidad del concreto producido para sistemas de rejillas metálicas de puentes, sin embargo, dentro de los documentos contractuales no se hace referencia a los mismos, ni en el CR-77 en sus respectivos apartados, de hormigón estructural (602A) y calidad de materiales (capítulo 700). Por lo que en este informe no se consideran de acatamiento obligatorio para la fabricación y aceptación de los concretos. Por tanto, lo que se puede determinar claramente con respecto a los requisitos contractuales del concreto es:

- Resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 a los 28 días (concreto convencional).
- Resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 a las 24 horas (concreto de alta resistencia).
- Resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 a la fecha de la apertura (concreto convencional y de alta resistencia).

De acuerdo con las entrevistas realizadas a los encargados del proyecto y de la supervisión, se utilizaron básicamente dos tipos de concreto para el colado del sistema de las rejillas metálicas según la etapa constructiva, a saber:

- El concreto utilizado para rellenar las zonas de las rejillas a media altura, fue colado en planta, titulado en adelante como “Concreto Convencional”. Sin embargo, cabe considerar que a pesar de lo indicado en el cartel (280 kg/cm^2 a los 28 días), el diseño de mezcla elaborado para este tipo de concreto indica que la resistencia especificada a la compresión se alcanza a los 7 días¹.
- El concreto utilizado para rellenar las juntas perimetrales y las juntas de rejillas, con adición de súper plastificante para alcanzar altas resistencias a la compresión a edades tempranas, titulado en adelante como “Concreto de Alta Resistencia”. Para este tipo de concreto la Administración definió que fuese diseñado para obtener la resistencia a la compresión contractual a las 24 horas, tal como fue planteado en el diseño de mezcla².

Además el productor de concreto diseñó dos tipos de hormigón estructural adicionales, para alcanzar la resistencia especificada a los 3 y 14 días³, los cuales fueron utilizados en diferentes obras, tales como medianeras y vallas peatonales. Debido a que estos concretos no se utilizan en las rejillas, no se incluyen dentro del análisis realizado a los resultados de compresión de los cilindros ensayados.

11.2 Control del concreto durante la obra.

Durante las diferentes etapas de producción y colado de estos concretos hidráulicos, se realizó una cantidad importante de muestreos y ensayos para comprobación de la resistencia a la compresión, según se detalla en la Tabla 2 tanto por parte de la empresa CEMEX contratada para la producción y suministro del concreto, así como por parte de la empresa constructora Soares da Costa, mediante el laboratorio CACISA quien fungió como control de calidad. De igual manera la Administración mediante la inspección ejercida por la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes realizó ensayos de verificación al concreto, a saber en las instalaciones del laboratorio central de Geotecnia del MOPT y

¹ Hormigón tipo “Concreto acelerado” producido por CEMEX, diseñado para lograr la resistencia a los 3 y 7 días. .

² Hormigón tipo “Concreto profesional SMO^{MR}” producido por CEMEX, diseñado para alcanzar resistencia a las 24 horas..

³ Hormigón tipo 1-280-1-R-03-15-1-1-819 acelerado a 3 días. Hormigón tipo 1-280-1-R-14-15-1-1-819 acelerado a 14 días

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 22 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------



en el laboratorio del MOPT ubicado en San Ramón. Todos los muestreos realizados satisfacen los criterios establecidos en el apartado 604A.04 del CR-77, en el que indica que se tomará una muestra cada 30 m³, con un mínimo de 3 muestras por elemento estructural.

Tabla 2. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión.

	Cacisa		Cemex		MOPT	
	N° Muestreos	Cantidad Cilindros (*)	N° Muestreos	Cantidad Cilindros (*)	N° Muestreos	Cantidad Cilindros (*)
Cantidad total (1día)	21	83	30	80	17	58
Cantidad total (3día)	6	22	3	3	4	12
Cantidad total (7día)	22	85	16	32	15	40
Cantidad total (14día)	6	24	4	8	5	14
Cantidad total	55	214	53	123	41	124

Resumen general		
	N° Muestreos	Cantidad Cilindros (*)
Cantidad total (1día)	68	221
Cantidad total (3día)	13	37
Cantidad total (7día)	53	157
Cantidad total (14día)	15	46
Cantidad total	149	461

(*)La cantidad representa el resultado de la falla de uno ó varios cilindros de concreto.

Fuente: UAT, LanammeJCR

Cabe mencionar que tanto el laboratorio de control de calidad de la empresa CEMEX, como el laboratorio CACISA cuentan con los ensayos, que se le practican al concreto, debidamente acreditados, tal como lo indican el oficio del día 19 de mayo de la empresa CEMEX sin número de identificación y el oficio 183-2011 del laboratorio CACISA, ante la consulta realizada por esta auditoría, así como consta en los informes de ensayo y en el alcance de la acreditación declarado por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), en su página de internet.

Por otra lado, el ECA en dicha página, no reporta acreditación de estos ensayos por parte del Laboratorio del MOPT, sin embargo el Director del laboratorio señala en oficio DIR-11-144, que el personal encargado de efectuar los ensayos que se realizan al concreto cuenta a su haber con el curso certificado del ACI.

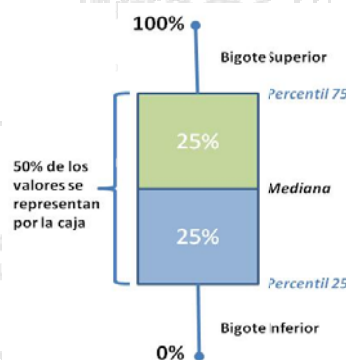
Una vez puesta en servicio una línea de la losa de rejilla metálica colocada en el puente sobre el río Virilla, a partir del día 27 de enero de 2011, (siete días después de apertura al tránsito 20/01/2011) se comenzaron a evidenciar una serie de desprendimientos del concreto hidráulico colocado en diversas zonas del sistema de enrejillado de la fase 1. El mismo fenómeno se continúa presentando, al observarse desprendimientos en el concreto colado en las rejillas de las fases 2, 3 y 4, después de la apertura de los carriles al tránsito (fechas de apertura: 28/01/11, 09/02/11 y 19/02/11, respectivamente).

Debido a ello la empresa constructora inició una serie de análisis y ensayos del concreto, entre los que se destacó el muestreo y extracción de núcleos del concreto colocado en las rejillas metálicas, realizado entre los días 04 y 05 de marzo de 2011 por el laboratorio CACISA.

11.3 Descripción de la metodología de análisis estadísticos aplicados por LanammeUCR

Inicialmente se agruparon los datos de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto ensayados por todos los laboratorios involucrados, clasificándolos mediante diversos criterios. Posteriormente, se aplicaron pruebas de normalidad a los diferentes conjuntos de datos previamente agrupados con el fin de identificar valores atípicos y verificar si éstos son parte de una misma población, determinándose que el grupo de datos se podía analizar estadísticamente de manera integral. Seguidamente se realizó un análisis estadístico detallado aplicando el análisis de frecuencia normal, así como de frecuencia acumulada ó clasificación por percentiles.

Además se aplicó el análisis mediante gráficas de cajas, la cual representa visualmente la información básica del análisis estadístico de un conjunto de datos, entre la que se incluye: mediana, percentil 25, percentil 85, mínimo y máximo. La mediana y los percentiles se visualizan en forma de cajas, mientras que los valores mínimo y máximos se representan mediante líneas externas de las cajas, denominadas “bigotes”. La longitud de cada uno de estos representa a un percentil 25, siendo la separación existente entre los límites de la caja y estos valores. La caja se compone de dos rectángulos de diferente color, cada uno de ellos representa a un percentil 25. Por lo tanto, el primer bigote es el 25% de los datos, la primera y la segunda caja representan el siguiente 50% (siendo cada una un 25% y completando el 75% de los datos) y el bigote superior representa el faltante 25% para completar el 100% de los valores representados. Para efectos de este informe el límite correspondiente al 75% o percentil 75, se modifica al 85% de los datos o percentil 85, de acuerdo con los criterios establecidos por el *Bureau of Reclamation* de los Estados Unidos, en el documento ACI 214R: “Evaluación de los Resultados de Resistencia del Concreto”.



Finalmente, se evaluó la variabilidad inherente del proceso productivo así como los resultados fuera de los límites de especificación aplicando el procedimiento de inferencia estadística establecido en la sección 107.05 c) “Evaluación estadística del trabajo” del “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010”, con el propósito de aportar elementos para la evaluación del proceso de producción mediante herramientas estadísticas.

La variabilidad del proceso se determina por medio de los índices de calidad (ICS y ICI) los cuales son estimadores del sesgo del proceso productivo con respecto al valor meta y son indicadores de la homogeneidad existente en el conjunto de datos analizados.



Con los índices de calidad del parámetro que se va a analizar (resistencia a la compresión), se obtiene el porcentaje de fuera de los límites de especificación (PFL), aplicando la Tabla 107-1 de la sección indicada del CR-2010, lo cual es una estimación del porcentaje de producto que podría encontrarse fuera del rango de especificación para el periodo analizado, por ende, la diferencia con respecto al 100% es el producto que se mantiene dentro de la especificación.

11.4 Análisis de los resultados de los ensayos de control y verificación de calidad para el concreto convencional.

El Cartel de Licitación No.2010CD-000128-ODI00: “Instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el Río Virilla en la Autopista General Cañas, Ruta Nacional No.1” en el Apartado 34.11 establece los siguientes requerimientos técnicos con respecto al concreto convencional:

“34.11). Concreto

...

c) Resistencia del concreto.

El hormigón estructural de la losa será Clase B, con resistencia mínima a la compresión de 280 (doscientos ochenta) kg/cm² a los 28 (veintiocho) días...”

A continuación se presentan una serie de análisis para los resultados de resistencia a la compresión de cilindros del concreto hidráulico producido entre el mes de diciembre 2010 a febrero del 2011, reportados en:

- Informes de ensayo realizados por CACISA, laboratorio encargado del control de calidad del contratista.
- Informes de ensayo elaborados por el Laboratorio de Materiales del MOPT.
- Resultados del control de calidad elaborado por CEMEX.

El análisis se realiza mediante la aplicación de diversas herramientas estadísticas a los resultados de resistencia a la compresión del concreto, para especímenes colados en sitio de las losas, con el fin de verificar el cumplimiento de los requisitos contractuales de resistencia mínima de 280 kg/cm² a los 28 días o a la fecha de apertura al tránsito, según se detalló en el inciso 11.1.

Además los análisis se realizan estableciendo diferentes categorías de comparación, tales como edad de falla, mes de producción, resultados obtenidos por laboratorio y análisis global.

Con base en la información contenida en los informes de ensayo, se realizó un análisis estadístico general con los resultados de todos los laboratorios involucrados, principalmente agrupando los datos de acuerdo con la resistencia alcanzada según su edad, aplicando posteriormente el análisis de frecuencia normal, así como de frecuencia acumulada ó clasificación por percentiles con el objetivo primordial de determinar puntos característicos, tendencias o desviaciones de este conjunto de datos y el cumplimiento de los requisitos contractuales.

Hallazgo 1: El análisis estadístico de los resultados de ensayo reportados por los diferentes laboratorios evidencia que el concreto convencional utilizado para el sistema de rejillas metálicas rellenas con concreto, cumplió con la resistencia a la compresión establecida en el cartel de licitación de 280 kg/cm² a los 28 días.

El análisis desarrollado para los resultados de resistencia a la compresión de los cilindros moldeados de la losa de rejilla rellena con concreto consistió en la tabulación cronológica de los datos y posterior análisis, el cual se describe en las secciones subsiguientes.

11.4.1 Análisis general de resistencia a la compresión por edad

Tal como se mencionó anteriormente los resultados de los laboratorios de control de calidad y verificación se agruparon de acuerdo con la edad de falla y resistencia a la compresión obtenida, con el fin de realizar un análisis de frecuencia normal y de frecuencia acumulada. El detalle de las respectivas figuras obtenidas del análisis se adjunta en el ANEXO A1. El resumen de este análisis se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de análisis de frecuencias para la evolución de la resistencia del concreto convencional.

Criterio \ Edad	Concreto Convencional			
	3 días	7 días	14 días	28 días
≤ 280 kg/cm ² , %	67%	14%	11%	0%
> 280 kg/cm ² , %	33%	86%	89%	100%
Promedio, kg/cm ²	262	332	340	419
Percentil 85, kg/cm ²	304	383	392	454

Fuente: UAT, LanammeUCR

La tabla anterior indica el porcentaje de especímenes de cilindros de concreto ensayados que poseen una resistencia a la compresión mayor, menor o igual que la especificada contractualmente de 280 kg/cm², de acuerdo con la edad de falla; así como el promedio y el percentil 85. Se incluye la información de este percentil, debido a que se considera el valor estadísticamente representativo de la resistencia a la compresión alcanzada por la mayor parte de la población estudiada.

Analizando la evolución de la resistencia del concreto indicada en la Tabla 3, se observa que el 67% de los cilindros de concreto convencional fallados a la edad de 3 días, presentan resistencias iguales o menores a la resistencia a la compresión de 280 kg/cm²; es decir que, el 33% de los cilindros presentan resistencias superiores a la mínima requerida. Por otro lado, se denota que los resultados de los cilindros fallados a la edad de 7 días muestran que el 86% obtienen una resistencia mayor o igual a la resistencia a la compresión requerida, con un valor de resistencia promedio de 332 kg/cm². Se puede precisar que a los 14 días de edad, ya el 89% de los cilindros ensayados poseen una resistencia a compresión mayor a la especificada de 280 kg/cm².



Finalmente, se observa que los resultados de resistencia a la compresión de todos los cilindros ensayados a los 28 días, cumplen satisfactoriamente con la resistencia mínima de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ establecida en el cartel de licitación, con una resistencia promedio de 419 kg/cm^2 , es decir, aproximadamente 1,5 veces mayor de lo requerido.

Si se consideran las condiciones del diseño de mezcla a 7 días propuesto por el productor del hormigón, condición constructiva la cual no se estableció en la documentación contractual, se determina que el 14% de las muestras analizadas de dicho concreto hidráulico tienen un valor menor a la condición planteada del diseño de mezcla la resistencia de 280 Kg/cm^2 a la edad de 7 días.

11.4.2 Análisis general de resistencia a la compresión por mes

11.4.2.1 Diciembre 2010

Adicionalmente la información reportada en los informes de ensayo, se analizó mediante la aplicación de la herramienta estadística de gráfica de cajas, agrupando los datos de acuerdo con el mes, laboratorio de ensayo y edad de falla. El Gráfico 1 muestra en resumen los resultados de resistencia a la compresión obtenidos por cada uno de los laboratorios que participaron realizando ensayos a los cilindros de concreto, para el mes de Diciembre del 2010. El detalle de las curvas de resistencias del concreto, para cada uno de los laboratorios involucrados se presenta en el ANEXO B1. El concreto producido durante ese mes fue utilizado para el colado de las rejillas metálicas en planta, y del análisis se determina que:

- A partir de los 7 días de edad el concreto logra obtener la resistencia mínima establecida en el cartel de licitación de 280 kg/cm^2 de acuerdo con los resultados derivados del laboratorio de control de calidad CACISA, por parte de la constructora Soares da Costa.
- Similar condición se presenta para los resultados reportados por la empresa productora CEMEX, en donde a partir de 3 días de edad el concreto logra obtener, aproximadamente, la resistencia mínima establecida en el cartel de licitación de 280 kg/cm^2
- Sin embargo, 6 muestras analizadas de los ensayos efectuados por la supervisión de CONAVI y el laboratorio del MOPT, los cuales se muestran en las curvas presentadas en el ANEXO B1, evidencian que la resistencia de 280 kg/cm^2 se alcanza aproximadamente a partir de los 19 días de haber sido fabricado el concreto hidráulico.

Diciembre-2010

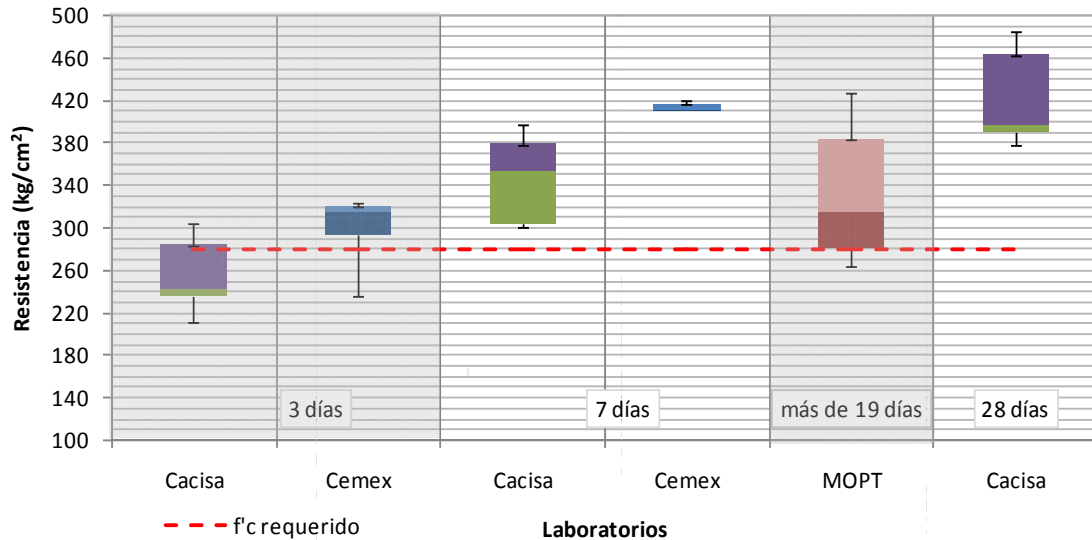


Gráfico 1. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto convencional. Dic-2010. Fuente: UAT, LanammeUCR

Por lo tanto, se evidencia que durante el mes de diciembre del 2010, el concreto convencional obtiene resistencias a la compresión superiores a 280 kg/cm^2 a los 28 días de edad de acuerdo con los resultados aportados por los laboratorios involucrados.

11.4.2.2 Enero 2011

En relación con los resultados obtenidos, por cada uno de los laboratorios involucrados, de resistencia a la compresión para el concreto producido y colado en las losas de rejilla metálica en planta durante el mes de Enero de 2011 (ver Gráfico 2, en el ANEXO B1 se detallan las curvas de resistencias del concreto por laboratorio), estos datos revelan que:

- De acuerdo con los resultados emitidos por el control de calidad (Laboratorio CACISA), a partir de los 7 días de edad la mayor parte del concreto producido sobrepasa la resistencia mínima establecida en el cartel de licitación de 280 kg/cm^2 .
- Igual situación se determina con los resultados reportados por la cementera CEMEX, en donde después de los 7 días de edad el concreto desarrolla resistencias mayores que la mínima establecida en el cartel de licitación de 280 kg/cm^2 .
- En tanto los resultados originados por los laboratorios del MOPT muestran que a partir de los 7 días de edad, la mayoría de los resultados de compresión del concreto hidráulico obtienen la resistencia de 280 kg/cm^2 o mayor, debido a que la mayor parte de los resultados se encuentran por encima del percentil 25.

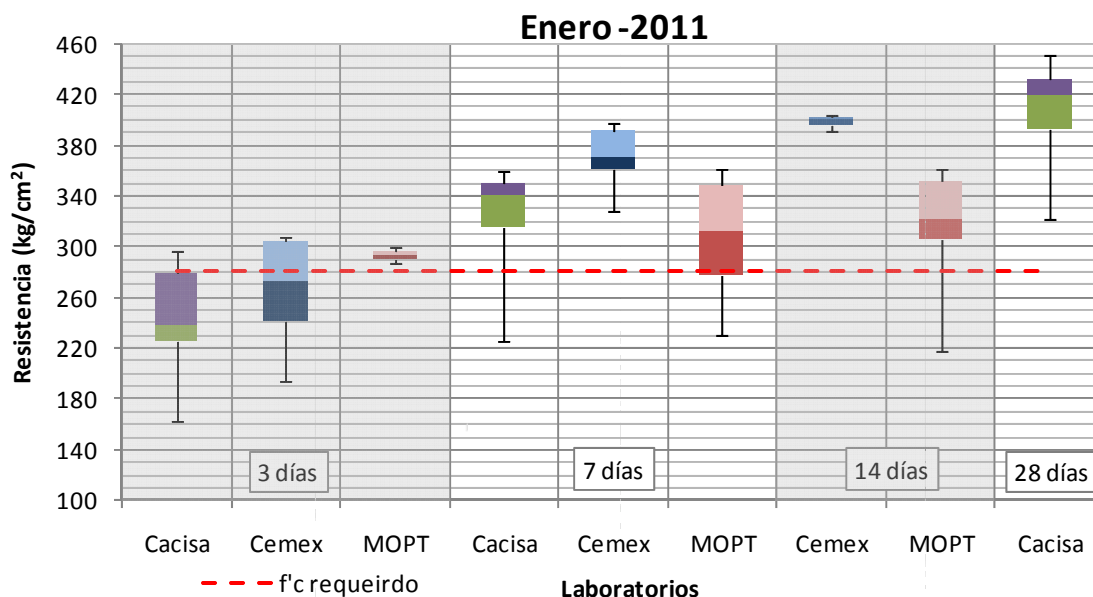


Gráfico 2. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto convencional. Ene-2011. Fuente: UAT, LanammeUCR.

Para el mes de enero del 2011, se determina que los resultados de ensayo de resistencia a la compresión para el concreto convencional reportados por los laboratorios del proyecto fueron superiores al requisito de resistencia mínima de 280 kg/cm² solicitado en el cartel de licitación.

11.4.2.3 Febrero 2011

Los resultados de resistencia reportados, por cada uno de los laboratorios que efectuaron ensayos al concreto producido y colado en las losas de rejillas metálicas, según se muestra en el Gráfico 3 (ver ANEXO B1 en donde se detallan las curvas de resistencias del concreto por laboratorio) durante el mes de Febrero de 2011, indican que:

- Para los resultados reportados por el laboratorio de control de calidad CACISA, por parte de la constructora Soares da Costa, se observa que los cilindros de concreto alcanzan la resistencia mínima establecida en el cartel de licitación de 280 kg/cm² a partir de los 7 días de edad del concreto.
- En tanto los resultados reportados por la empresa productora CEMEX, revelan que la mayoría de los cilindros ensayados alcanzan la resistencia mínima establecida en el cartel de licitación de 280 kg/cm² aproximadamente a partir de los 3 días de edad del concreto.
- En cuanto a los resultados emitidos para la supervisión de CONAVI, se observa que aproximadamente la mitad de los datos de ensayo logran la resistencia de 280 kg/cm² a partir de los 7 días de edad (ver curvas de resistencias del concreto en el ANEXO B1).

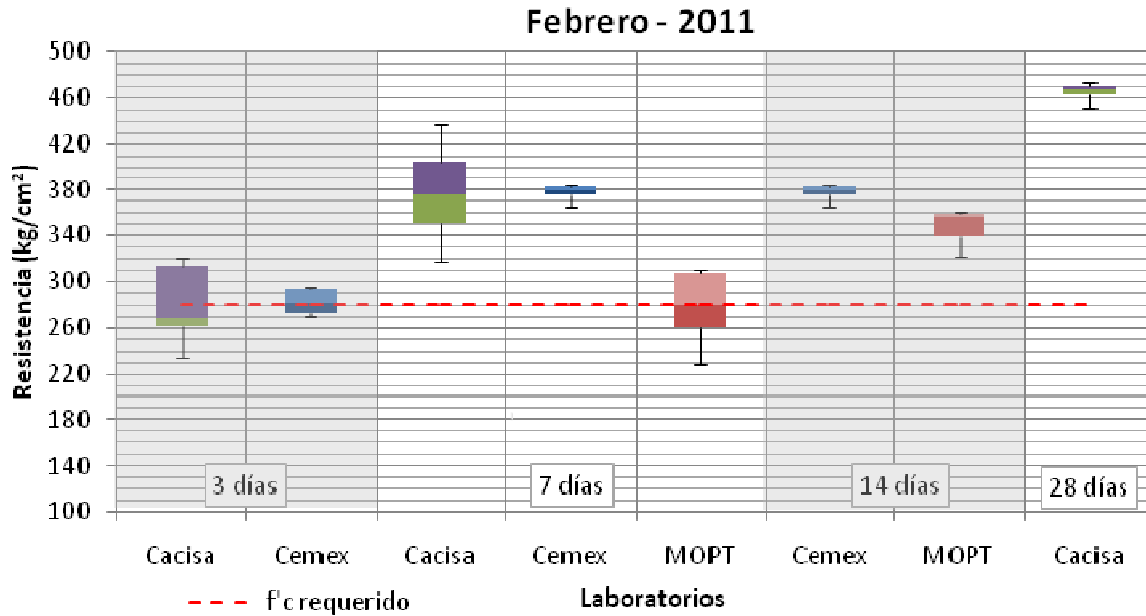


Gráfico 3. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto convencional. Feb-2011. Fuente: UAT, LanammeUCR

Del análisis efectuado, se deriva que el concreto convencional producido en el mes de febrero del 2011, cumplió con el requerimiento de resistencia solicitada en el cartel de licitación, mostrando valores mayores a 280 kg/cm² a los 28 días.

11.4.3 Análisis global de la resistencia a la compresión del concreto convencional

Al aplicar el análisis estadístico con el fin de evaluar de forma general todos los resultados de la resistencia a la compresión alcanzada por los cilindros de concreto que fueron reportados por los laboratorios de control de calidad (CACISA y Cemex), así como los del laboratorio de la inspección/verificación de calidad (MOPT), para los tres meses en que se produjo concreto convencional para ser colocado en el sistema de rejillas metálicas, se determina que:

- Para la edad de 28 días, especificada en los documentos contractuales, la totalidad del concreto convencional tiene una resistencia mayor al valor mínimo especificado de resistencia a la compresión de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, reportándose valores entre 400 kg/cm² y 440 kg/cm² para un rango intercuartil de 60% (percentil 25 a 85), con una mediana de 420 kg/cm² y valores extremos de 340 kg/cm² y 460 kg/cm².

Sin embargo, a pesar de no ser un requisito establecido contractualmente, se evalúa la resistencia a la compresión a la edad en la que fue diseñado el concreto (7 días), determinándose que:

- Evidentemente la mayoría del concreto convencional fabricado logra desarrollar satisfactoriamente el valor mínimo de resistencia a la compresión de 280 kg/cm² a partir de los

7 días, tal como se observa en el Gráfico 4, en donde aproximadamente más del 80% de los valores de ensayo reúnen la condición establecida por el productor en el diseño de mezcla planteado para este tipo de concreto.

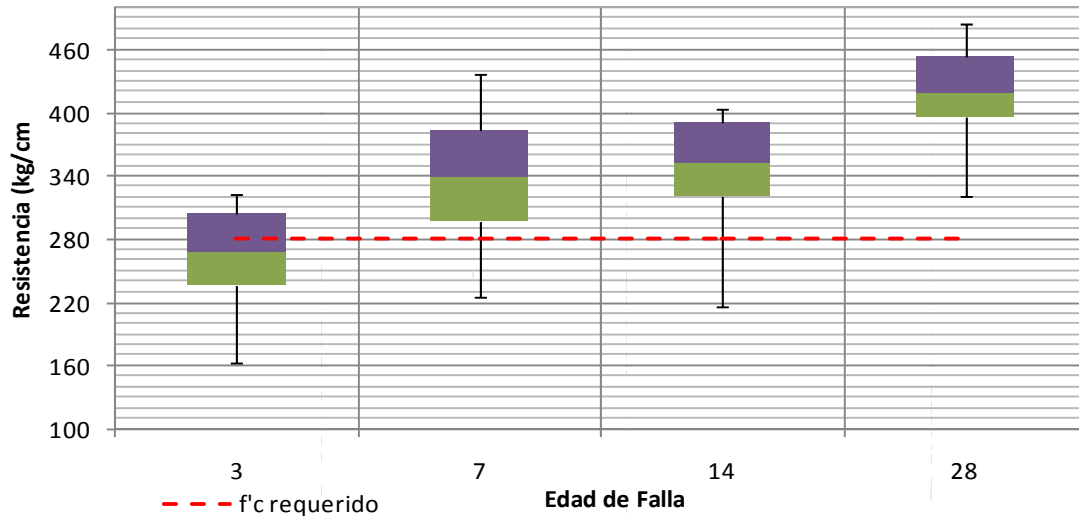


Gráfico 4. Resumen global de resultados de resistencia a la compresión del concreto convencional.

Fuente: UAT, LanammeUCR

11.4.4 Análisis de la resistencia a la compresión del concreto convencional según fecha de apertura

Las aclaraciones al cartel de licitación especifican que la resistencia del concreto convencional debía obtener la resistencia mínima a la compresión de 280 kg/cm² a la fecha de la apertura al tránsito, tal como se observa en el siguiente extracto del oficio DI-10-10-2549:

“La Administración solicita que para el momento que se habilite nuevamente el tránsito en cada fase se garantice una resistencia mínima del concreto de 280 (doscientos ochenta) kg/cm², es decir, que 24 (veinticuatro) horas de colada la mezcla se obtenga dicha resistencia, tal y como se indica en el inciso c del apartado mencionado en la consulta (34.11), por lo tanto, le corresponderá al contratista determinar el uso y aplicación de uno o más aditivos para lograr este fin.” El subrayado no es del texto original.

Para el análisis detallado en esta sección es importante aclarar que de acuerdo con la planeación definida para este proyecto, se establecieron 4 líneas de colocación de las rejillas metálicas, denominándose a cada una como rejillas tipo A, B y C para los tramos compuestos de vigas y D, E y F para el tramo compuesto por la cercha metálica. Las fases 1 y 2 consistieron en la colocación de las rejillas tipo C y F correspondientes a las líneas internas del puente en ambos sentidos. En tanto en las fases 3 y 4 se colocaron las rejillas A / D y B / E las cuales corresponden a los carriles central, externo y acera peatonal del puente. A continuación se analiza la resistencia a la compresión lograda por el concreto convencional a la fecha de apertura.



Hallazgo 2: Se evidencia que a la fecha de apertura el concreto convencional utilizado para el sistema de rejillas metálicas rellenas con concreto, cumplió con la resistencia a la compresión establecida en la documentación contractual de 280 kg/cm^2 .

Al evaluar, para cada una de las fases, la resistencia a la compresión del concreto convencional colado en las rejillas al momento de la apertura al tránsito; se logra determinar que el valor logrado por el concreto para dicha fecha superaba la resistencia contractual de 280 kg/cm^2 según se puede observar en la Tabla 4 y Gráfico 5. La Tabla 4 muestra la cantidad de días transcurridos entre la fase de colado de las rejillas en planta y su posterior colocación en la fase respectiva en el puente, además se incluye el periodo entre la fecha final de los trabajos de colocación y la respectiva fecha de apertura al tránsito de cada una de las fases constructivas. Igualmente en el Gráfico 5 se observa la curva promedio del concreto convencional derivada de los valores promedio de las resistencias a la compresión de todos los resultados reportados por los laboratorios involucrados. De dicha curva se obtienen los valores de la resistencia a la compresión, a la fecha de la apertura al tránsito, para cada una de las fases mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Edad y resistencia del concreto convencional a la fecha de apertura al tránsito.

Fuente: UAT, LanammeUCR

De la fase 1 y 3 se determina que el periodo transcurrido entre el colado de las rejillas y la apertura al tránsito está comprendido entre 18 y 22 días para los cuales el concreto convencional mostró resistencias cercanas a los 400 kg/cm^2 . La fase 4 muestra que la edad del concreto a la fecha de apertura al tránsito fue de aproximadamente 12 días, edad a la cual dicho concreto mostraba una resistencia a la compresión mayor a 350 kg/cm^2 . También se denota que durante la fase 2 se utilizaron concretos de alta resistencia.

Curva promedio de resistencia a la compresión

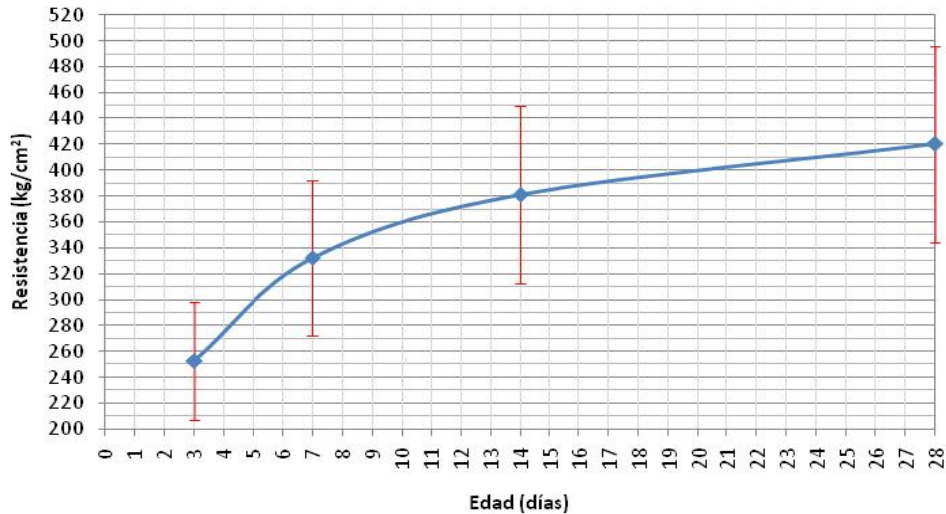


Gráfico 5. Curva promedio de la resistencia a la compresión del concreto convencional y su respectiva dispersión. Fuente: UAT, LanammeUCR

Es conveniente indicar que no fue posible establecer la trazabilidad del concreto colado en cada una de las rejillas y su posición final en la losa, debido a que en la información aportada solamente se encontró el registro, por parte del control de calidad, de las fechas de colado de las rejillas. Los diferentes registros analizados carecen de la información detallada de la ubicación de cada una de las rejillas en el puente, solamente se tiene conocimiento de las fechas de inicio y finalización de cada una de las fases de colocación de las rejillas.

11.5 Análisis de los resultados de los ensayos de control y verificación de calidad para el concreto de alta resistencia.

Se debe considerar que el cartel de licitación especifica que la resistencia del concreto se obtenga a edades tempranas, mediante la incorporación de aditivos súper plastificantes, sin detallar la edad específica a la que se debe obtener dicha resistencia. Razón a este hecho, los potenciales oferentes solicitaron aclaración respecto a la edad a la que se debía obtener la resistencia mínima a la compresión de 280 kg/cm², ante lo cual la Administración establece en el oficio DI-10-10-2549 lo siguiente:

*"La Administración solicita que para el momento que se habilite nuevamente el tránsito en cada fase se garantice una resistencia mínima del concreto de 280 (doscientos ochenta) kg/cm², es decir, que **24 (veinticuatro) horas** de colada la mezcla se obtenga dicha resistencia, tal y como se indica en el inciso c del apartado mencionado en la consulta (34.11), por lo tanto, le corresponderá al contratista determinar el uso y aplicación de uno o más aditivos para lograr este fin."* El subrayado no es del texto original.

Con base en los informes de ensayo realizados por CACISA, los informes de ensayo elaborados por los Laboratorios de Materiales del MOPT y los resultados del control de calidad reportados por



CEMEX, se llevó a cabo un análisis estadístico de los resultados de resistencia a la compresión de cilindros del concreto hidráulico producido entre el mes de enero y febrero del 2011.

Hallazgo 3: El análisis estadístico evidencia que el concreto de alta resistencia utilizado para el sistema de rejillas metálicas rellenas con concreto y las juntas de empalme, cumplió en un 86% con la resistencia a la compresión establecida en la documentación contractual de 280 kg/cm² a 24 horas.

El análisis estadístico general se realizó con base en los resultados de resistencia a la compresión contenidos en los informes de ensayo de todos los laboratorios ligados con el proyecto. El objetivo primordial del análisis es verificar el cumplimiento de la resistencia mínima especificada en el cartel mediante el uso de herramientas estadísticas aplicadas a los resultados de ensayo de resistencia a la compresión para especímenes de concreto colados en sitio. Este análisis define categorías de comparación que permiten estudiar variables específicas tales como edad de falla, mes de producción, resultados obtenidos por laboratorio y finalmente un análisis global.

11.5.1 Análisis general de resistencia a la compresión por edad

El análisis estadístico general de los resultados de todos los laboratorios involucrados en el proceso del control y verificación de la calidad se realizó inicialmente agrupando los datos de resistencias alcanzadas según su edad. Posteriormente se elaboró el análisis de frecuencia normal y clasificación por percentiles con el fin de determinar puntos característicos, tendencias o desviaciones de este conjunto de datos. Las figuras detalladas correspondientes a este análisis se adjuntan en el ANEXO A2 y el resumen de las mismas se puede observar en la Tabla 5, la cual muestra el porcentaje de especímenes de cilindros de concreto ensayados a las 24 horas de edad, que poseen una resistencia a la compresión mayor o menor que la especificada contractualmente de 280 kg/cm², así como el promedio, el percentil 85 y la evolución de la resistencia a la compresión hasta los 28 días de edad.

Tabla 5. Resumen de análisis de frecuencias para concreto de alta resistencia a edad temprana

Criterio \ Edad	Concreto alta resistencia			
	1 día	3 días	7 días	28 días
≥ 280 kg/cm ² , %	86%	100%	100%	100%
≥ 600 kg/cm ² , %	0%	21%	33%	83%
Promedio, kg/cm ²	305	520	520	699
Percentil 85, kg/cm ²	426	612	668	784

Fuente: UAT, LanammeUCR



De la tabla anterior se destacan los siguientes aspectos:

- Los cilindros fallados a las 24 horas reportan una resistencia a la compresión promedio de 305 kg/cm². Adicionalmente, se tiene que solamente el 86% de los resultados se encuentran con una resistencia mayor o igual a la especificada contractualmente de 280 kg/cm², es decir que el 14% de los cilindros fallados aún no habían desarrollado la resistencia mínima requerida.
- Analizando la evolución de la resistencia mostrada en la Tabla 5, se observa que a los 3 días de edad, el 100% de los valores se mantuvieron sobre los 280 Kg/cm², con un promedio de 520 kg/cm². Para la edad de 7 días, el concreto alcanzaba una resistencia promedio igual a la de 3 días, correspondiente a 520 kg/cm². Sin embargo, se puede observar que el percentil 85 sí es significativamente mayor, lo cual quiere decir que la dispersión de los datos pudo afectar el promedio en ambos casos pero se obtuvieron resistencias mayores a 600 kg/cm² en el 33% de las muestras falladas a 7 días.
- Finalmente, a los 28 días, el 17% de los valores fueron inferiores a 600 kg/cm², esto quiere decir que, el 83% de los cilindros presentaron resistencias superiores a los 600 kg/cm², lo cual indica que el uso de aditivos súper plastificantes no perjudicaron la resistencia final del concreto.

11.5.2 Análisis general de resistencia a la compresión por mes

Para analizar la variabilidad de los resultados del concreto de alta resistencia se agruparon los datos de acuerdo al mes, laboratorio de ensayo y edad de falla. Posteriormente se procedió a utilizar la herramienta estadística de gráfica de cajas, la cual suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los percentiles 25 y 85, la mediana, valores atípicos y la simetría de la distribución.

11.5.2.1 Diciembre 2010

Durante el mes de diciembre del 2010 no se produjo concreto de alta resistencia a edades tempranas, ya que este tipo de concreto se diseñó para rellenar las juntas perimetrales y las juntas de rejillas en sitio, proceso que inició hasta Enero del 2011.

11.5.2.2 Enero 2011

En el Gráfico 6 se puede observar un resumen los resultados de resistencia a la compresión obtenidos por los laboratorios involucrados, para el mes de Enero del 2011. Las curvas de resistencias del concreto de alta resistencia, para cada uno de los laboratorios participantes se detallan en el ANEXO B2.

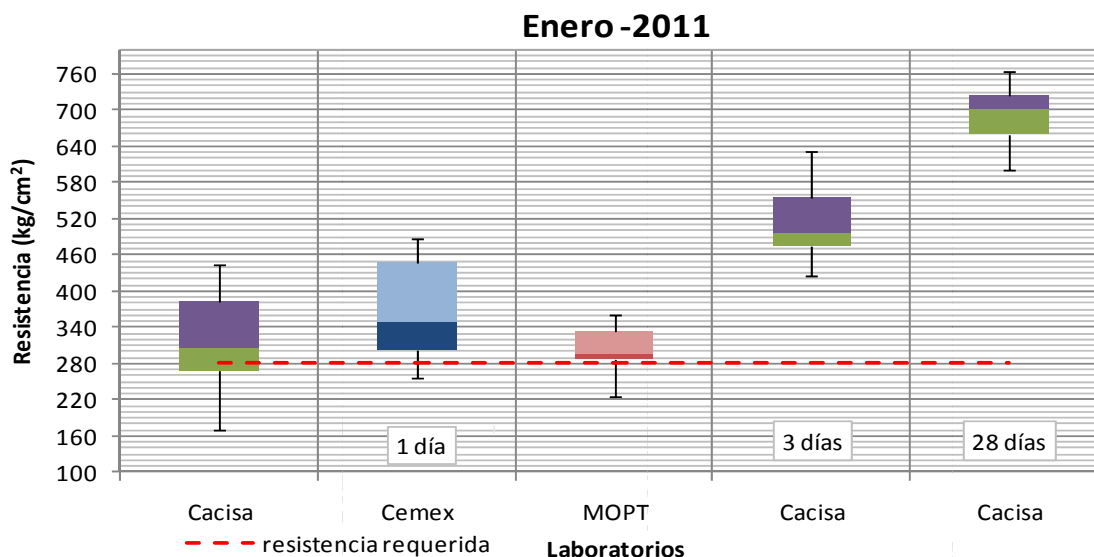


Gráfico 6. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia. Ene-2011. Fuente: UAT, LanammeUCR

Del gráfico anterior se destacan los siguientes aspectos:

- A las 24 horas de edad, los resultados de los ensayos reportados por CACISA muestran alrededor de un 25% de valores menores respecto a las especificaciones contractuales.
- En el caso de la productora Cemex, se observa que los resultados a 1 día presentan una mediana de aproximadamente 350 kg/cm² y cerca de un 15% de las muestras evidencian valores inferiores a la resistencia mínima.
- Los valores reportados por los laboratorios del MOPT muestran un comportamiento similar al de CACISA, en donde poco menos del 25% de los resultados no alcanzaron la resistencia a la compresión de 280 kg/cm² a las 24 horas.
- Adicionalmente, a los 3 y 28 días, los resultados del concreto de alta resistencia reportados por el laboratorio de control de calidad CACISA presentan valores medios de 500 y 700 kg/cm², respectivamente.

Por lo tanto, se puede observar que el 75% de los resultados de ensayo del concreto de alta resistencia producido en el mes de enero del 2011, reportados por los laboratorios del proyecto, son superiores al criterio contractual de los 280 kg/cm² a las 24 horas.

11.5.2.3 Febrero 2011

Durante el mes de Febrero del 2011 también se realizaron muestreos al concreto de alta resistencia por parte de los laboratorios involucrados en el proyecto, según se observa en el Gráfico 7 (ver detalle de las curvas de resistencias del concreto por laboratorio en el ANEXO B2).

Para 24 horas, se tienen que los resultados reportados por CACISA y Cemex mostraron valores superiores de resistencia a la compresión indicada en el cartel, no así los resultados de los laboratorios del MOPT, en donde aproximadamente el 30% de los valores presentaron resistencias

inferiores a 280 kg/cm^2 . En tanto a la edad de 3 días, CACISA reportó un rango de resistencias entre 500 y 700 kg/cm^2 , mientras que el MOPT obtuvo valores entre 350 y 500 kg/cm^2 , lo cual evidencia la variabilidad existente entre los laboratorios que puede reflejarse por aspectos propios de los procesos de ensayos y no necesariamente por la variación del producto analizado. Finalmente, CACISA fue el único laboratorio que realizó ensayos al concreto de alta resistencia a los 28 días, y según los resultados obtenidos, se tienen resistencias entre los 700 y los 830 kg/cm^2 .

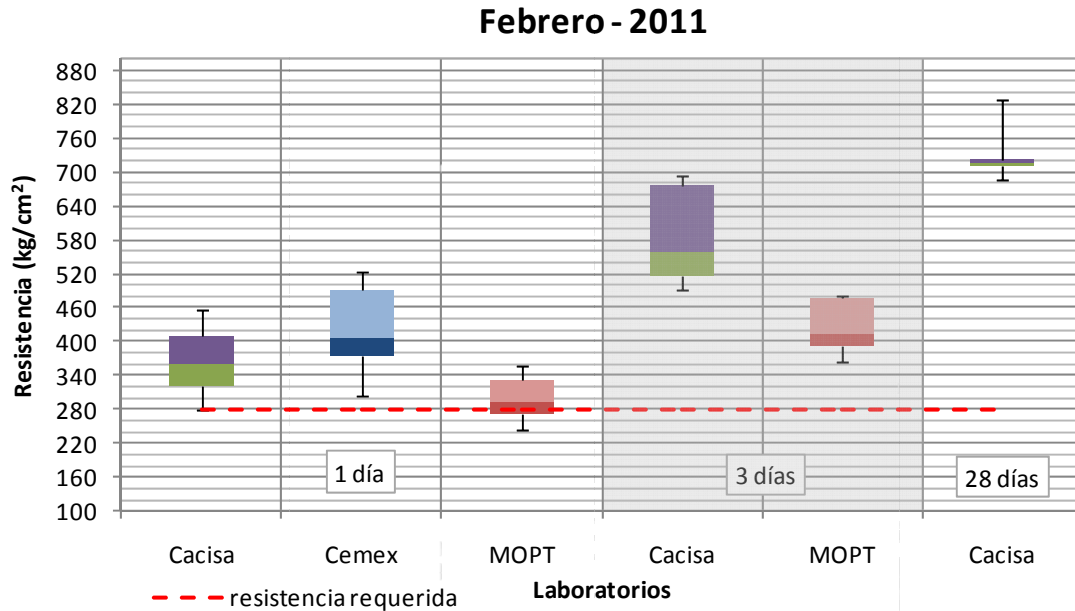


Gráfico 7. Resultados de control y verificación de calidad de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia. Feb-2011. Fuente: UAT, LanammeUCR

Según los resultados de ensayo reportados por los laboratorios involucrados, para el mes de febrero del 2011, solamente los resultados del MOPT determinan que un 30% de los valores de resistencia a la compresión son inferiores al requisito contractual 280 kg/cm^2 a las 24 horas.

11.5.3 Análisis general de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia

Se evaluaron los resultados del ensayo a la compresión del concreto de alta resistencia producido durante los meses de enero y febrero del 2011, para ser colocado en las conexiones de las rejillas y que fueron reportados por los laboratorios de control de calidad, a saber CACISA y Cemex, así como de los laboratorios del MOPT, mostrándose en el Gráfico 8 que:

- A las 24 horas se observa que el 86% de las muestras ensayadas cumplen con la resistencia mínima establecida en los documentos contractuales. Por lo tanto el restante 14% posee una resistencia menor a 280 kg/cm^2 , incluso una muestra presentó un valor de resistencia de 170 kg/cm^2 .

- Sin embargo el concreto producido para alcanzar resistencias a edades tempranas, a partir de los 3 días de fabricado, desarrolla altas resistencias a la compresión con valores hasta 700 kg/cm².

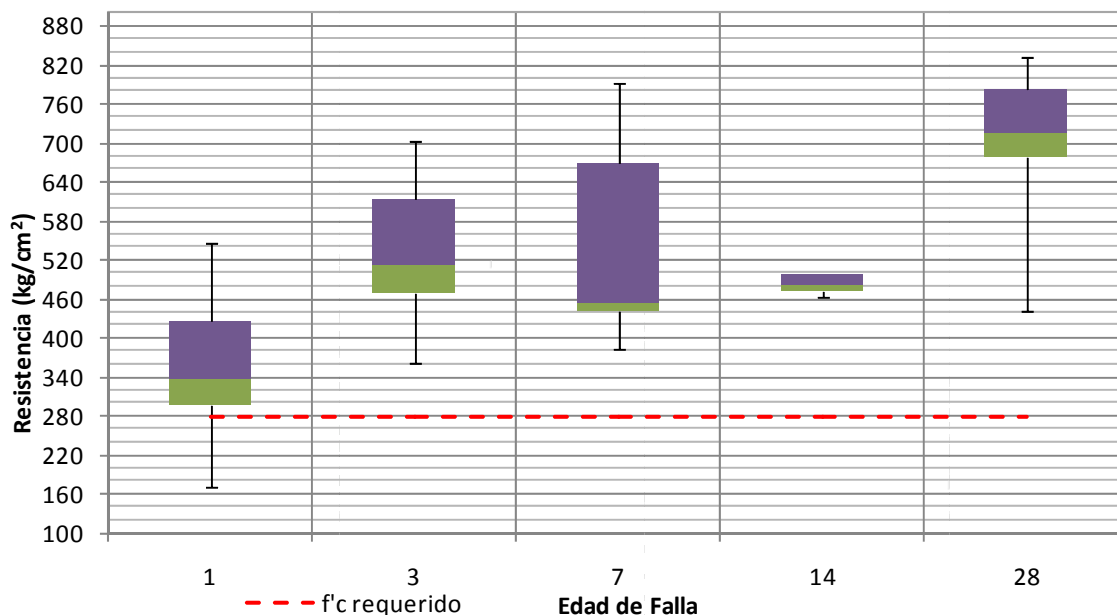


Gráfico 8. Resumen de resultados de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia.

Fuente: UAT, LanammeUCR

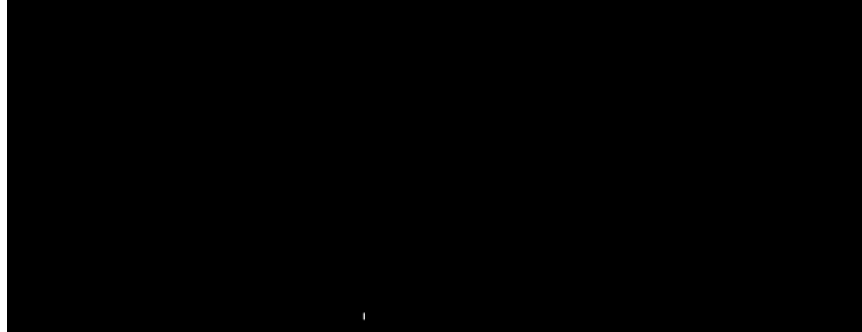
11.5.4 Análisis de la resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia según fecha de apertura

Para el colado de las juntas perimetrales de las rejillas colocadas en las fases 1 y 2 (rejillas tipo C y F) y en las fases 3 y 4 (rejillas tipo A / D y B / E), se utilizó concreto de alta resistencia diseñado para alcanzar una resistencia de 280 kg/cm² a las 24 horas. A continuación se realiza un análisis de la resistencia a la compresión lograda por este concreto a la fecha de apertura.

Hallazgo 4: Se evidencia que a la fecha de apertura el concreto de alta resistencia utilizado para el sistema de rejillas metálicas rellenas con concreto, cumplió con la resistencia a la compresión establecida en la documentación contractual de 280 kg/cm².

Al evaluar los resultados de compresión del concreto de alta resistencia a la edad correspondiente a la fecha de apertura al tránsito, se evidencia que en tan sólo en la fase 2 transcurrió un día entre la finalización de las actividades de colocación de las rejillas metálicas y la apertura al tránsito sobre el puente, según se muestra en la Tabla 6. En dicha tabla se tabula para cada una de las fases constructivas el periodo mínimo transcurrido entre la fecha de colado de las juntas perimetrales y la fecha de apertura al tránsito. Cabe aclarar que la mayoría de las labores de colado de juntas perimetrales realizadas en cada una de las fases, a lo largo del puente, corresponden a periodos superiores al indicado.

Tabla 6. Edad y resistencia del concreto de alta resistencia a la fecha de apertura al tránsito.



Fuente: UAT, LanammeUCR

Del análisis general se observa que las restantes fases se habilitaron al tránsito 2 y 4 días después de la última labor de colocación, mostrando el concreto de alta resistencia para esa fecha valores superiores a los 500 kg/cm² en los ensayos a compresión tal como se muestra en la Tabla 6 y Gráfico 9.

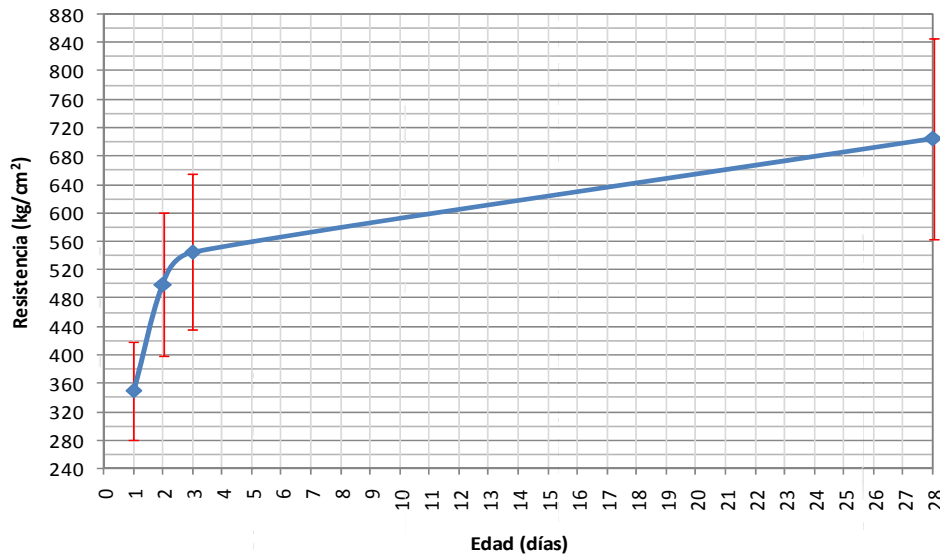


Gráfico 9. Curva promedio de compresión del concreto de alta resistencia y su respectiva dispersión.

Fuente: UAT, LanammeUCR

De acuerdo con el criterio contractual definido para la resistencia a la compresión a la fecha de la apertura, se determina que el concreto de alta resistencia entró en servicio a partir de los 2 días de colado en la mayoría de las fases del proyecto, lo que permitió alcanzar resistencias mayores a la requerida contractualmente de 280 kg/cm² a las 24 horas.



11.6 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión de núcleos de concreto convencional extraídos de la losa de rejilla metálica rellena con concreto, por CACISA y LanammeUCR

El propósito de la extracción de núcleos del concreto convencional reside en conocer el estado del concreto colado en las rejillas con el fin de determinar, además de la resistencia a la compresión actual en sitio, aspectos tales como: la distribución de los agregados en la matriz del concreto mediante evaluación visual para definir si existió o no una segregación que pudiera incidir en la resistencia final del concreto, el tamaño máximo del agregado presente en la matriz de concreto y la presencia de microfisuras, tanto en la matriz del concreto, así como propiamente en los agregados minerales y su posible influencia en la resistencia final del concreto. Los aspectos mencionados, excepto la resistencia a la compresión, se analizan en el apartado 13.

Antes de continuar con el estudio de los resultados es importante aclarar diversos aspectos relevantes que se encuentran detallados en las Normas AASHTO y ASTM para determinar resistencias a la compresión a partir de muestras de núcleos extraídos de la losa del puente actual, con el fin de entender y efectuar el análisis de los resultados obtenidos.

El primer punto es que no hay una relación universal entre la resistencia a la compresión de un núcleo y la correspondiente resistencia a la compresión de los cilindros moldeados y curados. La relación se ve afectada por muchos factores, como el nivel de resistencia del concreto, la temperatura en sitio, el historial de humedad, diferencias en curado, proceso de extracción y las características de la ganancia de resistencia del concreto. Adicionalmente, es sabido que la resistencia a la compresión de núcleos de diámetro nominal de 50 mm (2 pulg.), es menor y con mayor dispersión que aquellos cuyo diámetro nominal sea de 100 mm (4 pulg.). Finalmente, el concreto de la zona representada por el núcleo se considera estructuralmente adecuado si el promedio de 3 núcleos es por lo menos igual al 85% de f'_c (criterio A), y ningún núcleo tiene una resistencia menor al 75% de f'_c (criterio B) pro los motivos expuestos anteriormente. Cuando los núcleos den valores erráticos, se debe permitir extraer núcleos adicionales de la misma zona.

Observación 1: Los resultados de ensayo de núcleos extraídos de las losas de rejilla metálica rellenas con concreto, por el laboratorio CACISA y el LanammeUCR, determinan que el concreto convencional, alcanzó la resistencia a la compresión establecida en la documentación contractual a la edad del concreto.

Los resultados de la extracción de núcleos realizada por el laboratorio de CACISA fueron remitidos a esta auditoría como parte de la documentación solicitada y posteriormente entregada por la empresa Soares da Costa, durante el desarrollo del presente estudio, los cuales fueron posteriormente analizados por esta auditoría. Adicionalmente, el LanammeUCR realizó dos muestreos de núcleos, los días 08 y 15 de abril del 2011. El primer muestreo se realizó a varias rejillas que se encontraban en el plantel de Soares da Costa, y el segundo muestreo se realizó en el puente sobre el río Virilla. Los respectivos análisis también fueron realizados por esta auditoría, los cuales se detallan más adelante.



El análisis desarrollado para los resultados de resistencia a la compresión de los núcleos extraídos de la losa de rejilla rellena con concreto consistió en la tabulación de los datos y una posterior interpretación gráfica de los mismos, la cual se describe en las secciones subsiguientes.

11.6.1 Análisis de resistencia a la compresión de núcleos extraídos por CACISA

La empresa CACISA realizó la extracción de 8 núcleos de concreto a la losa del puente entre los días 04 y 05 de marzo de 2011, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7.

Se puede observar que los núcleos tienen un diámetro promedio de 4,55 cm, el cual fue condicionado por las dimensiones de la rejilla, de ahí la necesidad de trabajar con núcleos de dicho tamaño. Según las limitaciones del ensayo, este aspecto influye en la resistencia a la compresión que pueden desarrollar estas muestras.

Para una edad aproximada de al menos 30 días desde su colocación, los núcleos extraídos del concreto colado en las rejillas muestran resultados promedio de resistencia a la compresión de 289 kg/cm², incluso llegando a alcanzar valores hasta 358 kg/cm² tal como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por CACISA.

Fuente: Informe de ensayo INF.604-2011 de CACISA.

En el Gráfico 10 se observa que todos los valores satisfacen el criterio B, anteriormente mencionado. Aún si solamente se analizaran los tres valores menores de la muestra, se alcanza el criterio A establecido.

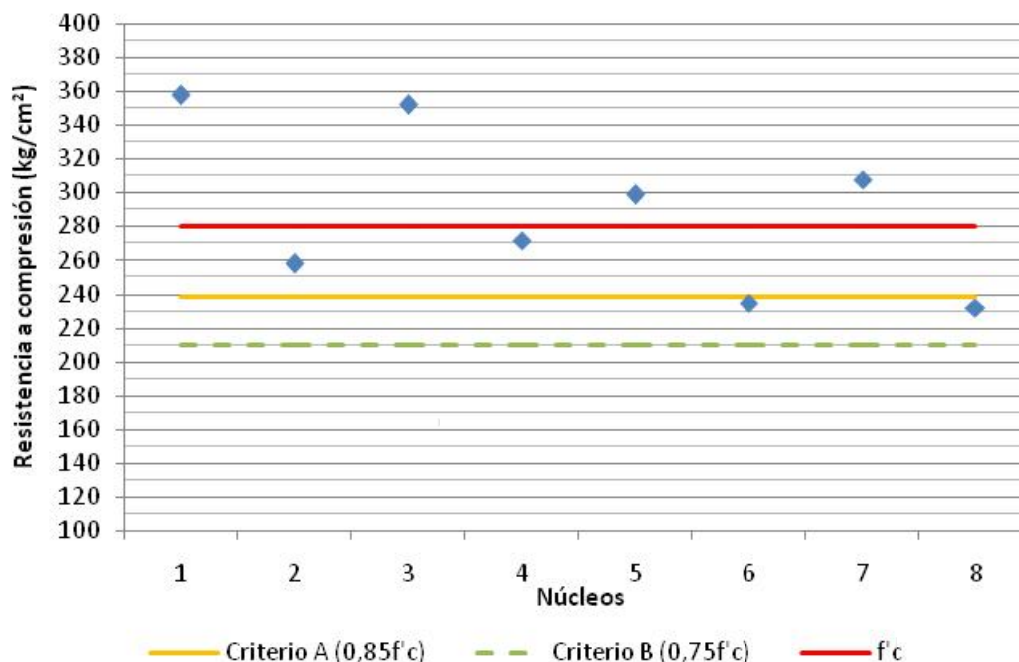


Gráfico 10. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por CACISA aproximadamente a los 30 días de colado del concreto. Fuente: CACISA. Elaborado por: UAT, LanammeUCR.

11.6.2 Análisis de núcleos extraídos por LanammeUCR

La finalidad de la extracción de los núcleos es obtener muestras representativas de la fabricación del concreto convencional que se coló para el relleno de las rejillas metálicas, independientemente de si las rejillas fueran colocadas en la losa del puente o no. El muestreo realizado por el LanammeUCR correspondió a la extracción de núcleos de concreto proveniente tanto de rejillas en servicio como de rejillas que no se colocaron en el puente.

Las rejillas seleccionadas para la extracción de núcleos que no se colocaron en el puente corresponden a coladas de concreto convencional fabricado los días 27 y 29 de diciembre de 2010, 10, 16, 17 y 31 enero, 01 de febrero de 2011, en los cuales se colaron un total de 107 rejillas, conformando un 26% del tablero del puente sobre el río Virilla.

Por motivo de las restricciones de tamaño anteriormente indicadas, se procuró obtener núcleos en aquellas zonas donde existiera una mayor posibilidad de extraerlos íntegramente, en donde el concreto no mostraba signos de agrietamiento de modo que cumplieran al menos con una relación diámetro/altura de uno a uno. Para garantizar dicha relación, se extrajeron núcleos en aquellas zonas en donde según los planos constructivos (láminas 8/17 y 10/17) indicaban espesores mayores a los de media altura.

Es de conocimiento de esta auditoría que se remitieron al LanammeUCR nueve núcleos de concreto

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 42 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------

extraído en el puente sobre el río Virilla Ruta Nacional N°1 para realizar ensayos químicos y físicos, según el oficio GCTI-11-0193 emitido por el Director de este proyecto. Ante consulta del ensayo de estos núcleos, el Coordinador General de Laboratorios indicó que ningún espécimen de la muestra cumplió con los requisitos de la norma para ser ensayados (la relación longitud entre diámetro debe ser mayor a 1).

El LanammeUCR muestreó 16 núcleos, 11 de ellos fueron extraídos el día 8 de abril de 2011 de rejillas no colocadas que permanecían en el plantel de Soares da Costa y los 5 restantes fueron extraídos el día 14 de abril de 2011 directamente de las rejillas en servicio que están colocadas sobre el puente sobre el río Virilla. Los resultados se pueden observar en la Tabla 8 y en el Gráfico 11.

Tabla 8. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por LanammeUCR.

Núcleo	Ubicación	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Relación	Tamaño de agregado (mm)	Área (cm ²)	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)
				Alt/Diam.				
1	Plantel Soares da Costa	4,10	6,30	1,54	10,90	58,40	58,40	436
2	Plantel Soares da Costa	4,09	6,43	1,57	NR	13,10	61,30	460
3	Plantel Soares da Costa	4,60	6,59	1,43	13,00	16,60	65,10	382
4	Plantel Soares da Costa	4,60	6,35	1,38	14,40	16,60	70,20	409
5	Plantel Soares da Costa	4,59	6,57	1,43	10,50	16,60	80,60	473
6	Plantel Soares da Costa	4,59	6,33	1,38	10,50	16,50	66,00	386
7	Plantel Soares da Costa	4,59	7,08	1,54	10,90	16,50	61,60	366
8	Plantel Soares da Costa	4,59	9,21	2,01	14,10	16,60	63,90	393
9	Plantel Soares da Costa	4,60	9,23	2,01	12,10	16,60	71,80	442
10	Plantel Soares da Costa	4,59	9,20	2,00	12,80	16,60	71,60	441
11	Plantel Soares da Costa	4,59	9,20	2,00	9,34	16,50	70,00	432
12	Puente sobre R. Virilla	4,60	9,17	1,99	14,15	16,60	57,20	351
13	Puente sobre R. Virilla	4,59	9,13	1,99	11,26	16,60	68,40	420
14	Puente sobre R. Virilla	4,59	9,12	1,99	13,60	16,60	70,30	433
15	Puente sobre R. Virilla	4,59	6,35	1,38	12,36	16,50	53,80	315
16	Puente sobre R. Virilla	4,59	9,14	1,99	12,85	16,60	76,70	472

Fuente: UAT, LanammeUCR

Del análisis efectuado se determina que el promedio de la resistencia a la compresión para una edad aproximada de 90 días, es de 413 kg/cm², además se evidencia que todos los valores logran el criterio B (mayor a 0,75f'c), tal como se observa en el Gráfico 11. De igual manera se observa que se alcanza el criterio A referido en la sección 2.3.2.

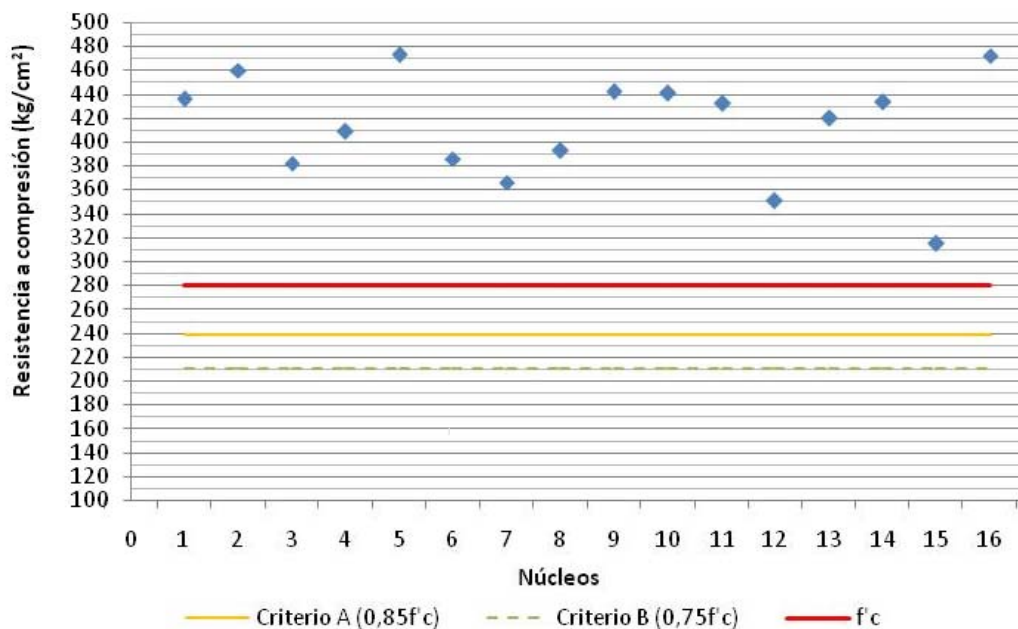


Gráfico 11. Resistencia a la compresión de núcleos de concreto extraídos por LanammeUCR aproximadamente a los 90 días de colado del concreto. Fuente: UAT, LanammeUCR

11.7 Consideraciones generales para el diseño y la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto

Entre las diferentes consideraciones que conforman la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto, se encuentran las definidas en la documentación contractual, las cuales se desarrollarán en los siguientes apartados.

11.7.1 Criterios para el diseño y evaluación del concreto

Observación 2: Se evidencia una inadecuada interpretación de las especificaciones generales para el diseño y la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto, establecidas en el CR-77.

El comportamiento estadístico inherente en todo proceso productivo, presenta un cierto nivel de variabilidad, el cual puede ser posteriormente controlado (no suprimido) de acuerdo a los controles de producción que se apliquen.

Las prácticas productivas sugieren que cuando se tiene solamente un límite como control, el valor meta de la producción no se defina en dicho límite, sino que lo sobrepase. Esto con el fin de evitar que la variabilidad del proceso productivo genere un mínimo aceptable de valores por debajo del límite indicado. Según Neville (2009) no se debe especificar una resistencia mínima absoluta, debido a que desde el punto de vista estadístico existe una cierta probabilidad de que los resultados de ensayo se encuentren por debajo del mínimo.

Al considerar la especificación establecida en el CR77, en la sección 602A.04 “Pruebas de resistencia al hormigón” viñeta d), se indica que la resistencia de diseño, se debe establecer a partir de la resistencia característica ($f'c$) de la clase de concreto, estableciendo para un control de condiciones muy buenas la resistencia como 1,20 el valor de $f'c$.

Obsérvese que la resistencia meta del diseño de concreto en la especificación se aumenta en un 20%, lo cual concuerda con lo recomendado por Neville, para compensar la posible variabilidad existente en el proceso productivo.

En cuanto a la valoración de los resultados de las resistencias de acuerdo con el inciso e) de dicha sección establece que “no debe presentar más de un 20% de valores más bajos de la resistencia característica y el promedio de cualquiera de las seis pruebas de esfuerzo consecutivo, debe ser igual o mayor que el esfuerzo promedio especificado”.

Además establece un valor permitido de resistencia mínima, el cual se define como el 85% del valor de $f'c$ a los 28 días como el esfuerzo de compresión del concreto menor aceptable, sin perjuicio de demoler la sección afectada.

Ilustrando lo anterior se tiene para la Figura 1.a) un proceso centrado en un valor meta de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con una desviación estándar de 5 kg/cm^2 y la Figura 1.b) el proceso con un valor meta de 1,2 $f'c$ y con la misma desviación estándar:

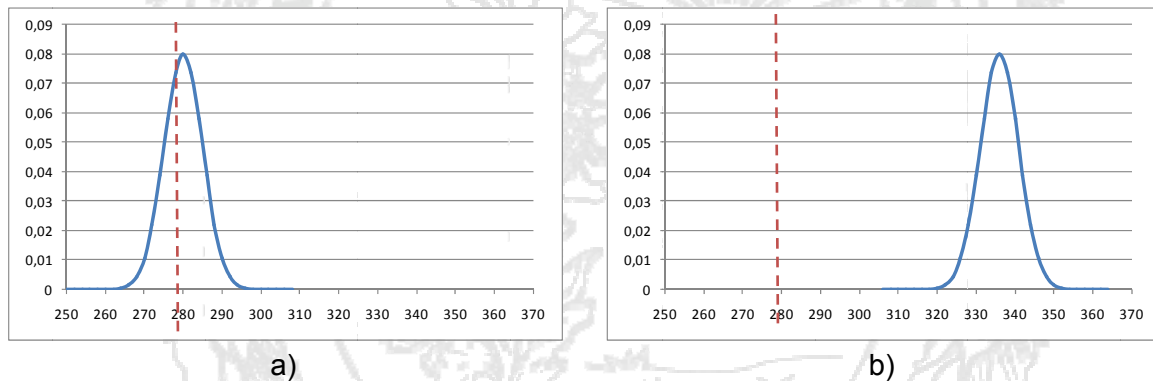


Figura 1. a) Valor límite del proceso coincide con valor meta, b) Valor límite del proceso es inferior que el valor meta.

Nótese, que la primera figura muestra que para un proceso en donde el valor del límite de control coincide con el valor meta de $f'c$, existe la probabilidad de que hayan resultados que estén por debajo de dicho límite, sin embargo si el valor meta de producción se establece mayor que el $f'c$ requerido se disminuye la probabilidad de que existan valores por debajo del límite de control.

Un proceso que no permita un 20% de valores más bajos de la resistencia característica $f'c$ con una desviación estándar de 5 kg/cm^2 debe centrarse alrededor de un valor meta de 285 kg/cm^2 .

Esta auditoría recibe el oficio 292.11 del 30 de mayo de 2011, suscrito por la jefatura de la Dirección Puentes del MOPT, dirigido al Director del LanammeUCR, en donde expone una serie de elementos



relacionados con el análisis e interpretación de los resultados de resistencias a la compresión de los concretos utilizados en el proyecto aludido, obtenidos por los laboratorios del MOPT y de CACISA.

Considerando lo expuesto por la ingeniera Ramírez se concluye que el análisis que se realizó difiere de los conceptos anteriormente puntualizados, ya que:

1. El valor de $1,20f'c$ debe ser comparado directamente con el valor de resistencia establecido en el diseño de mezcla, y no deben compararse los valores individuales de los ensayos de resistencia contra este valor.
2. La razón de aumentar el valor de resistencia del diseño, tiene la intención desde el punto de vista estadístico, trasladar el desempeño del proceso productivo representado por la curva normal, a un estado de menor riesgo de incumplimientos potenciales de la resistencia de control.
3. En cuanto a la resistencia característica ($f'c$) se permite hasta un 20% de valores más bajos, siendo para este caso se tabulan 44 muestras de resultados de CACISA, en las que se presentan 8 incumplimientos de la resistencia característica, representando un 18%. Sin embargo cabe tener en cuenta que dichos incumplimientos se presentan para las edades de diseño propuestas por el fabricante para los concretos de 1, 3 y 7 días, y no a los 28 días de edad a la cual deben realizarse las pruebas de resistencia tal como indica la norma.
4. Además el valor mínimo aceptable permitido del esfuerzo de compresión del concreto del 85% del valor de $f'c$ está definido para la resistencia obtenida a los 28 días, y no a otras edades. Sin embargo al comparar este valor mínimo permitido de $0,85f'c=238\text{kg/cm}^2$ se determina que existen resistencias menores en 2 muestras de 1 día a 1 día de edad, en 1 muestra de 3 días a los 3 días de edad y en 1 muestra de 7 días los 7 días de edad.

11.7.2 Criterios para la evaluación estadística y pago en función de la calidad

Observación 3: El cartel de licitación no contempló una valoración estadística de la variabilidad en la resistencia a la compresión y su consiguiente pago de acuerdo a la calidad alcanzada por el concreto.

Las prácticas habituales de valoración estadística establecen que el modelo de pago de obra ejecutada en función de la calidad tiene como propósito evaluar la calidad realmente alcanzada, comparándolos con los requisitos de calidad establecidos y pactados contractualmente para la obra ejecutada. Este nivel de calidad se determina estadísticamente (con base en muestras significativas y representativas), estimando parámetros definidos como criterios de evaluación, a los cuales se les asigna un peso porcentual en la calidad final de la obra ejecutada. Si la valoración de la obra no llega a alcanzar el mínimo del nivel de calidad requerido, se considera que la condición final de la obra puede llegar a ser contraproducente para la calidad del proyecto, tal como se define en las especificaciones contractuales, por lo que el trabajo no se puede considerar aceptable y no debería ser recibido por el ingeniero de proyecto.

Adicionalmente, el modelo de "*Pago en función de la calidad*" permite que una vez que se haya determinado que la obra realizada por parte del contratista, presenta un puntaje mayor que el nivel mínimo de calidad requerido, pero no alcanza el nivel establecido en las especificaciones del contrato,

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 46 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------



es sujeto del cálculo estadístico para el pago reducido de la obra realizada, el cual está asociado con un porcentaje de pago (Factor de Pago). El “Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010” en su sección 107.05 establece las pautas para la evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago.

Es criterio de esta Auditoría Técnica que los trabajos de obra realizados por el contratista deben ser medidos, evaluados y pagados según el procedimiento establecido contractualmente para cada proyecto específico. No obstante, en este proyecto se careció de un modelo de pago de obra en función de la calidad que definiera la metodología estadística y los parámetros de evaluación para valorar la calidad de la resistencia del concreto y su respectivo pago.

La aplicación de herramientas estadísticas para el análisis de los resultados de control y verificación de calidad es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo, para predecir el nivel de calidad del producto, corregir y prevenir desviaciones, mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de producción, determinar tendencias en el comportamiento de los parámetros en el tiempo, prevenir incumplimientos de las especificaciones establecidas y tomar decisiones oportunas, entre otros aspectos.

Las herramientas estadísticas de control de procesos evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino también la variabilidad del proceso, la cual puede aumentar la probabilidad de que el producto no cumpla con el nivel de calidad establecido por las especificaciones. Por esta razón, como parte de la auditoría, se realiza una evaluación estadística de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto reportados por los diferentes laboratorios involucrados en el proyecto, con el propósito de demostrar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción.

Por esta razón, como parte de la auditoría, se realiza una evaluación estadística de los resultados de la resistencia a compresión del concreto reportados por los diferentes laboratorios del proyecto, aplicando el procedimiento establecido en la sección 107.05 c) del CR-2010, con el propósito de demostrar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción.

11.7.2.1 Análisis de la variabilidad del proceso productivo del concreto convencional

Al evaluar el sesgo del proceso productivo de los resultados de los ensayos de los cilindros de concreto convencional fallados a los 28 días (resultados correspondientes a laboratorio CACISA), se puede establecer que con relación a los requerimientos cartelarios, el 95% de los cilindros de concreto colados desarrollan la resistencia mínima establecida de $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ (Ver Gráfico 12), llegando a reportar valores que rondan 440 kg/cm^2 .

Debido a que no se cuenta con resultados de resistencia a los 28 días para el resto de laboratorios involucrados, se analizaron los datos a los 7 días de edad de falla a la cual todos ellos realizaron ensayos. De dicho análisis, se puede establecer que el 84% de los resultados muestran un valor de resistencia mayor al establecido en el diseño de la mezcla propuesto por el productor. Siendo menor la variabilidad mostrada por los laboratorios de control de calidad (CACISA y Cemex), con valores de

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 47 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------

7% y 0%, respectivamente, tal como se detalla en la Tabla 9. Sin embargo, los resultados derivados por la inspección evidencian que una variabilidad del 41%. Se debe tener en cuenta que esta variabilidad puede verse influenciada por diversos factores ajenos a la calidad del concreto tales como ejecución de ensayos, calibraciones de equipo, experiencia de los técnicos, entre otros.

Tabla 9. Índices de calidad para resultados de resistencia a la compresión del concreto convencional

Edad, días	Concreto Convencional				
	28	7			
Laboratorio	Cacisa	Cacisa	Cemex	MOPT	General
Tamaño de muestra (n)	25	28	16	17	61
Promedio, kg/cm ²	420,2	340,6	379,4	274,1	332,3
Desviación estándar, kg/cm ²	85,4	41,3	24,2	26,3	51,8
Índice de Calidad Inferior (ICI)	1,6	1,5	4,1	0,2	1,0
Porcentaje dentro de los Límites (PDL)	95%	93%	100%	59%	84%
Porcentaje fuera de los Límites (PFL)	5%	7%	0%	41%	16%

Fuente: UAT, LanammeUCR

*Análisis realizado conforme a sección 107.05 c) del CR-2010 (Ver sección 11.3 de este informe)

** La nomenclatura PDL y PFL corresponde a NC y NI, respectivamente.

Según el Manual de Construcción de Puentes de AASHTO en la sección 8.4.1 “Diseño de Mezcla”, establecen prácticas generales de aceptación y control de los procesos productivos de la fabricación del concreto, las cuales indican que al evaluar la variabilidad de los ensayos al concreto, se acepta que el 10% de los ensayos de resistencia no alcancen la resistencia mínima. Según la Tabla 9, el análisis general de los índices de calidad muestra que la resistencia a la compresión excede este criterio en un 6%.

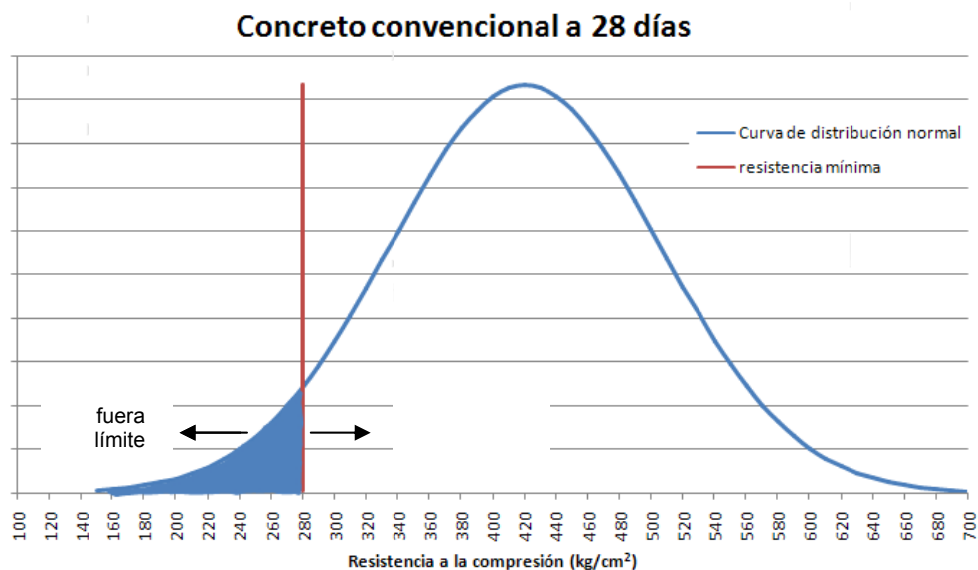


Gráfico 12. Curva de distribución normal de los resultados del concreto convencional reportados por Cacisa a 28 días. Fuente: UAT, LanammeUCR

11.7.2.2 Análisis de la variabilidad del proceso productivo del concreto de alta resistencia

Según el análisis de variabilidad de los resultados de los ensayos de los cilindros de concreto de alta resistencia fallados a las 24 horas reportados por todos los laboratorios, de forma general se determina que el 17% no satisface el criterio establecido contractualmente de resistencia a la compresión mayor a 280 kg/cm^2 , tal como se observa en la Tabla 10 y en el Gráfico 13.

Específicamente para cada uno de los laboratorios de control de calidad, se tiene que el porcentaje fuera de los límites es de 6% y 15%, para Cemex y CACISA, respectivamente. Por parte de la inspección, se tiene que los laboratorios del MOPT determinan que tan solo el 69% de los resultados se encuentran dentro del límite. Se debe tener en cuenta que esta variabilidad puede verse influenciada por diversos factores ajenos a la calidad del concreto tales como ejecución de ensayos, calibraciones de equipo, experiencia de los técnicos, entre otros. Lo anterior reafirma los análisis por edad y mensuales anteriormente presentados, los cuales muestran que un 14% de los ensayos para las 24 horas de falla, no han desarrollado la resistencia establecida.

Tabla 10. Índices de aceptación para resultados de resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia

Edad, días	Concreto de alta resistencia			
	1			
Laboratorio	Cacisa	Cemex	MOPT	General
Tamaño de muestra (n)	19	30	23	72
Promedio, kg/cm^2	345,5	393,0	298,0	350,1
Desviación estándar, kg/cm^2	63,1	73,3	37,0	72,7
Índice de Calidad Inferior (ICI)	1,0	1,5	0,5	1,0
Porcentaje dentro de los Límites (PDL)	85%	94%	69%	83%
Porcentaje fuera de los Límites (PFL)	15%	6%	31%	17%

Fuente: UAT, LanammeUCR

Comparando los resultados con el requerimiento contractual, se comprueba que a los 28 días de edad de falla la totalidad del concreto producido supera el valor de $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$, desarrollando incluso valores de 700 kg/cm^2 en promedio.

Concreto de alta resistencia a 24 horas

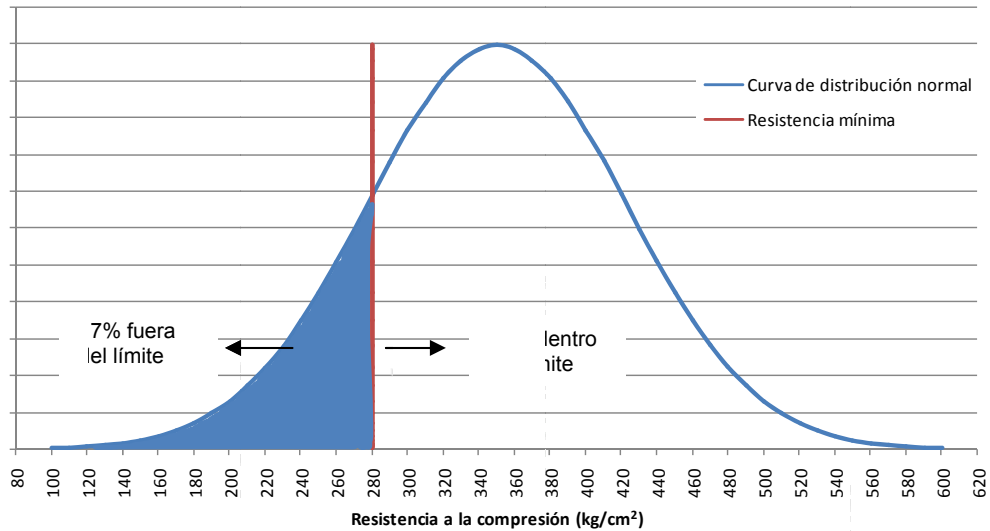


Gráfico 13. Curva de distribución normal del total de resultados del concreto de alta resistencia a 24 horas. Fuente: UAT, LanammeUCR

Sin embargo en la sección 8.4.1 “Diseño de Mezcla” del Manual de Construcción de Puentes de AASHTO las prácticas generales de aceptación y control de los procesos productivos de la fabricación del concreto, permite que al analizar la variabilidad de los ensayos al concreto, el 10% de los ensayos de resistencia no alcancen la resistencia mínima. Según la Tabla 10, el análisis general de los índices de calidad muestra que la resistencia a la compresión excede este criterio en un 7%.



12. SOBRE LAS ESPECIFICACIONES PARA EL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE REJILLA

Tal como lo mencionan los fabricantes de este sistema constructivo, la construcción de la rejilla metálica rellena con concreto consiste generalmente de productos industriales fabricados completamente en planta, las cuales se componen de elementos de acero principales conformados por barras, láminas o perfiles estructurales de variados tipos W, T ó C soldados entre sí, conformando una cruz entre sí en conjunto con las barras perpendiculares, siendo generalmente las barras principales mucho más rígidas que las barras transversales. En algunas ocasiones se utilizan además, barras paralelas complementarias a las barras principales, así como barras diagonales y barras para concreto armado.

Las rejillas pueden estar rellenas de concreto, a profundidad completa ó a media profundidad, en algunos casos se requiere el uso de sobrelosa.

Para el caso específico de la intervención del puente sobre el río Virilla, los términos de referencia fueron elaborados por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes, con el apoyo técnico fundamental de la Dirección de Puentes, siendo esta última la responsable de establecer dichos términos, por haber recomendado la utilización del sistema de rejilla metálica rellena con concreto.

En este informe de Auditoría Técnica se estudiarán únicamente las especificaciones concernientes con el concreto hidráulico establecidas para el uso de este sistema constructivo. Se deja fuera del alcance el análisis de las especificaciones del acero.

Observación 4: Las especificaciones concernientes al concreto hidráulico requerido para el sistema de rejilla metálica, indicadas en los documentos contractuales, no definen claramente las consideraciones requeridas para el diseño, fabricación y desempeño del concreto.

Como parte de este estudio de Auditoría Técnica y con el propósito de valorar la suficiencia de las especificaciones para la fabricación y uso del concreto hidráulico en el sistema de las rejillas metálicas contenidas en el cartel de licitación. En las secciones subsiguientes se contrastan las mismas, con especificaciones, recomendaciones y consideraciones diversas emitidas tanto por la Asociación de fabricantes de pisos de rejilla para puentes de Estados Unidos (BGFMA), lo indicado en los manuales para diseño y construcción de puentes AASHTO LRFD y productoras de rejillas LBFoster.

12.1 Cartel de licitación para la colocación de las rejillas metálicas

Inicialmente, y para establecer un punto de referencia para la comparación, se analizan las especificaciones técnicas relacionadas con el concreto hidráulico que se encuentran establecidas en el cartel de licitación, los planos de referencia y las enmiendas al cartel de licitación. Dichas especificaciones se encuentran indicadas en el apartado 34.10 del Cartel de Licitación No.2010CD-000128-0DI00: "Instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el Río Virilla en la Autopista General Cañas, Ruta Nacional No.1".

Las especificaciones puntualizan únicamente los siguientes aspectos, relacionados con las características físicas y de fabricación que debe cumplir el concreto:

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 51 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------

Tabla 11. Especificaciones cartelarias referentes al concreto a utilizar en el proyecto.

Apartado	Hormigón estructural clase B de 280 kg/cm ² colado en sitio – (juntas coladas en sitio)	Hormigón estructural clase B de 280 kg/cm ² colado en planta - (precolado en rejillas)
34.10. b)	En planta industrial se dosificarán los materiales de la mezcla, el cemento y el aditivo súper plastificante con poder acelerante para incrementar la resistencia del concreto a edades tempranas, sin influencia negativa sobre la resistencia final.	No especifica
34.10. c)	El diseño de la mezcla deberá considerar que ésta, permita el bombeo, con cemento “extra fino” y con la adición del aditivo tipo SIKAMENT H.E 200 (súper plastificante con poder acelerante que promueve la rápida ganancia de resistencia del concreto a edades tempranas sin influencia negativa sobre la resistencia final) o similar.	No especifica
34.10. c)	El hormigón estructural de la losa será Clase B, con resistencia mínima a la compresión de 280 (doscientos ochenta) kg/cm ² a los 28 (veintiocho) días.	
Planos de referencia, enmienda	No especifica	

Fuente: Cartel de Licitación No.2010CD-000128-0DI00 y planos

Asimismo, durante el periodo de recepción de ofertas, potenciales oferentes realizaron diversas consultas sobre el sistema constructivo de rejilla rellena con concreto, entre las cuales se planteó la aclaración sobre el uso de aditivos que permitieran el control de contracciones del concreto, ante lo cual la Dirección de Ingeniería de CONAVI en el oficio DII-10-10-2549 manifiesta que “La administración solicita que para el momento que se habilite nuevamente el tránsito se garantice una resistencia mínima del concreto de 280 kg/cm², es decir, que 24 horas de colada la mezcla se obtenga dicha resistencia, tal y como se indica en el inciso c del apartado 34.11 del cual se consulta, por tanto le corresponderá al contratista determinar el uso y aplicación de uno o más aditivos para lograr este fin”, lo anterior de acuerdo con lo expresado por la Dirección de Puentes en oficio 662.10 del 04 noviembre 2010.

De igual manera, los encargados del proyecto por parte de la Administración, a saber Dirección de Puentes y CONAVI, manifestaron en las entrevistas realizadas que el concreto que fuera colado en las rejillas obtuviera una resistencia a la compresión de 280 kg/cm² al momento que se habilite nuevamente el tránsito por lo que el concreto se diseñó para edades de 24 horas, 3, 7 y 14 días, tal como se evidenció en secciones precedentes.

12.2 Asociación de fabricantes de pisos de rejilla para puentes (BGFMA)

Durante el desarrollo del presente estudio de auditoría, se contactó a la Asociación de fabricantes de pisos de rejilla para puentes (BGFMA)⁴, quien emitió un documento modelo creado para la formulación

⁴ Se estableció comunicación mediante medios electrónicos con el Director Ejecutivo señor Mark Kaczinski.



de las especificaciones constructivas por parte de la Administración o propietario del puente denominado TS-05 “Especificaciones para Sistemas de paneles de rejillas reforzadas con concreto completamente llenas o parcialmente llenas” , en dicho documento se describen una serie de requisitos para los materiales y procesos constructivos recomendados por esta Asociación.

Entre los requisitos establecidos para los materiales que componen el concreto hidráulico se precisa, en varios apartados de dichas especificaciones (apartados 2.05, 2.11 y 3.02A), que *“el tamaño máximo del agregado grueso en el concreto no debe exceder $\frac{3}{8}$ ” (9.5mm) de tamaño*”.

Dispone además que debido a que el esfuerzo de un sistema de rejilla reforzada con concreto es determinado por el método del área transformada, la resistencia más baja que se especifica para el concreto hidráulico prefabricado, según el apartado 3.02A *“deberá alcanzar una resistencia a la compresión mínima de 28 días de 4000 psi [27.6 MPa]”*, estos valores corresponden a 280 kg/cm². Reitera que resistencias a la compresión inferiores a 4000 psi [27.6 Mpa] podrían alterar la relación modular y por lo tanto afectar la solidez del sistema compuesto.

En cuanto al proceso de producción del concreto dichas especificaciones regulan la relación por peso que debe existir entre agua – cemento (a/c) restringiendo la proporción a un valor mínimo de a/c <0,4, debido a que relaciones bajas de a/c producen mayores resistencias y disminuye la permeabilidad del concreto. Además indica que bajas relaciones reducen la trabajabilidad, por lo que se requiere el uso de plastificantes para aumentar la trabajabilidad sin sacrificar la resistencia.

La especificación establece en el apartado 3.02 D condiciones para el concreto prefabricado, entre las cuales se indica que *“Los paneles prefabricados no deberán ser trasladados o movidos de las “formaletas” hasta que el concreto haya alcanzado una resistencia mayor que 3500 psi [24.1 MPa] o el 75% de la resistencia de diseño de compresión del concreto”*, los valores corresponden a 245 kg/cm². Además especifica que *“los paneles prefabricados deben ser adecuadamente curados, hasta que el concreto alcance su resistencia de diseño de 28 días”*, de manera tal que se garantice una hidratación continua que permita un suministro de agua para reaccionar con el cemento, para que el concreto gane resistencia. Para tal fin a menudo se especifica un período mínimo de siete días.

12.3 Manual para diseño de puentes AASHTO

El manual AASHTO LRFD de especificaciones para diseño de puentes, en la sección 5 “Estructuras de Concreto” establece los requisitos generales para el diseño de puentes. El apartado 5.4.2 “Concreto de peso normal o liviano estructural” en la subsección 1 “Esfuerzo a la compresión” indica que el concreto Clase C es usado para “secciones delgadas, tales como barandas reforzadas menores a 10 cm de espesor, para relleno en pisos de rejilla de acero” entre otros usos. En la Tabla 12 se muestra un detalle del cuadro C5.4.2.1-1 “Características de la mezcla de concreto, por clase” que indica las propiedades solicitadas a este tipo de concreto.

Tabla 12. Características de la mezcla de concreto, por clase.

Clase de concreto	Contenido mínimo de cemento	Relación máxima de a/c	Rango de contenido de Aire	Agregado Grueso (AASHTO M43 / ASTM D448)	Esfuerzo de compresión a los 28 días
	lb/yd ³	lbs / lbs	%	Tamaño abertura (in)	ksi
C	658	0,49	-	0,5 a N°4	4,0 (280 kg/cm ²)
C(AE)	658	0,45	7,0 ± 1,5	0,5 a N°4	4,0 (280 kg/cm ²)

Fuente: Manual AASHTO LRFD para diseño de puentes

La sección 9.8.2.3. “Losas de rejillas llenas y parcialmente llenas” subsección 2 “Requerimientos de diseño” reafirma el uso del tipo de concreto al indicar que “*la porción de concreto de las losas de rejillas llenas y parcialmente llenas deben cumplir las disposiciones generales relacionadas con integridad y durabilidad a largo plazo establecidas en la sección 5*”.

12.4 Manual para construcción de puentes AASHTO

La sección 12 del manual AASHTO LRFD de especificaciones de construcción de puentes, establece los requisitos generales para el suministro y la instalación de los pisos de rejilla de acero del tipo abierto ó rellenos con concreto. En tanto que el apartado 12.2.3 “Concreto” establece que “*Todo el concreto en pisos de rejilla de acero rellenos debe estar conforme a los requisitos establecidos para Estructuras de Concreto (sección 8). El concreto y el tamaño del agregado deben cumplir los requisitos especificados para un concreto Clase C (AE)*”.

La sección 8.2.2 de este manual presenta la Tabla C8.2.2-1 “Clasificación del concreto peso normal” en la que se enlistan las propiedades solicitadas para esta clase de concreto y del cual se presenta un detalle en la Tabla 13.

Tabla 13. Clasificación del concreto peso normal

Clase de concreto	Contenido mínimo de cemento	Relación máxima de a/c	Rango de contenido de Aire	Agregado Grueso (AASHTO M43 / ASTM D448)	Esfuerzo de compresión a los 28 días
	lb/yd ³	lbs / lbs	%	Tamaño abertura (in)	ksi
C	860	0,49	-	0,5 a N°4	4,0 (280 Kg/cm ²)
C(AE)	860	0,45	7,0 ± 1,5	0,5 a N°4	4,0 (280 Kg/cm ²)

Fuente: Manual AASHTO LRFD para construcción de puentes

Además en los comentarios de la sección 8.2.2 se recomienda que debe tenerse en cuenta que cuando se utilice concreto de alto desempeño⁵, es deseable que las especificaciones se basen en el desempeño. Tal como sucede con el tipo de concreto Clase A (HPC)⁶ el cual está diseñado para ser

⁵ Se establece que un concreto de alto desempeño es aquel que tiene contenidos de A/C menores a 0,4 (Aitcin).

⁶ Desarrolla resistencias a la compresión próximas a 420 kg/cm² a los 28 días.



colado en sitio y además de especificarse la resistencia a la compresión mínima, también se especifica un criterio de desempeño. Algunos criterios de desempeño pueden evaluar contracción, permeabilidad a los cloruros, resistencia a la abrasión o calor de hidratación. El criterio de la resistencia a la compresión a los 28 días, para este tipo de concreto, no se considera suficiente.

Cuando se use el método compuesto de curado mediante membranas líquidas (sección 8.11.3.3), el concreto debe quedar completamente sellado inmediatamente después de que el agua ha desaparecido de la superficie por exudación.

12.5 Productor de las rejillas metálicas LBFoster

El fabricante del sistema propietario de losas para puentes mediante rejillas metálicas rellenas con concreto, establece en los documentos de referencia que se analizaron en este estudio de auditoría, la resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 a los 28 días, como único requisito para el concreto hidráulico a ser utilizado en este sistema. En entrevista realizada el día 18 de marzo de 2011, al representante de LBFOSTER, señor Mike Riley indica que un concreto de 4000 psi (280 kg/cm^2) es apropiado para el uso en sistemas de este tipo.

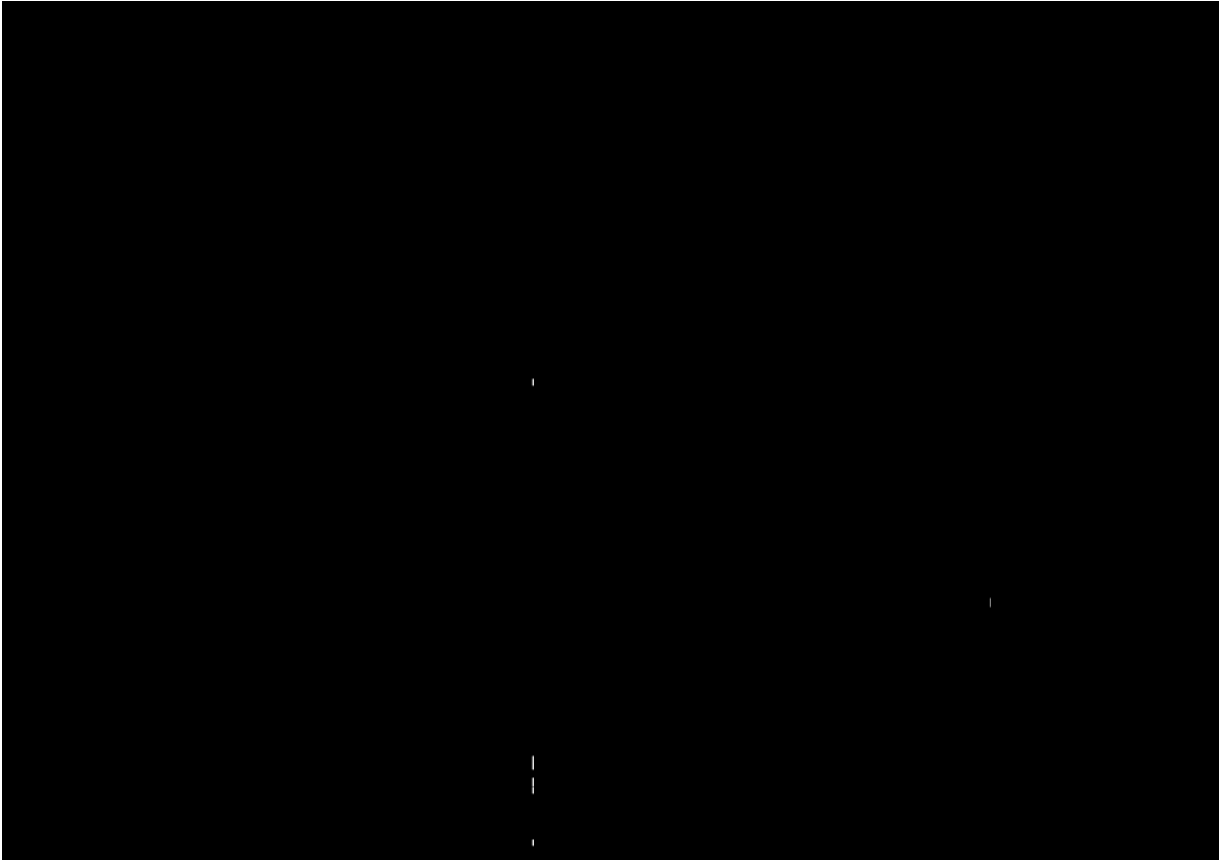
Además en oficio emitido por el representante de LBFOSTER, en fecha 17 de marzo de 2011, señala que: "En este proyecto, la rejilla de acero del puente está diseñada para actuar como refuerzo para el concreto en la cubierta. El acero y el concreto están diseñados como una sección compuesta y es importante que se use un concreto de alta calidad, el cual debe colocarse y curarse de manera tal que asegure su durabilidad a largo plazo."

Además indica que se están haciendo diferentes ensayos en su casa matriz para determinar que ha provocado el deterioro del concreto que rellena las rejillas, entre algunos posibles factores señala: la relación agua cemento, temperatura del concreto al ser colocado, la consolidación y condiciones de curado para controlar la pérdida de agua del concreto fresco. Opina que el esfuerzo de compresión del concreto es uno de los factores a considerar durante el diseño de la mezcla, pero que no es el único factor requerido para asegurar la durabilidad del concreto.

12.6 Análisis General

Tal como se observa en el resumen de especificaciones requeridas para el concreto utilizado para relleno del sistema de piso de rejillas metálicas, presentado en la Tabla 14, además del esfuerzo de compresión del concreto, la mayoría de normas consultadas durante este estudio de auditoría, requieren que otros parámetros sean conjuntamente especificados, para conferirle al concreto propiedades de durabilidad y desempeño.

Tabla 14. Resumen de especificaciones requeridas para sistemas de piso de rejillas metálicas.



Fuente: UAT, LanammeUCR

La mayor parte de las normas estudiadas coinciden en establecer, al menos, especificaciones para dos de las características principales del concreto, a saber tamaño máximo del agregado y la relación agua cemento.

Dichas características definen propiedades relevantes para la durabilidad y desempeño del concreto, tal como se indicó anteriormente, una relación de agua cemento cercana a 0,4 delimita las características esenciales de un concreto de alto desempeño (Aitcin), diferenciándolo de esta manera de un concreto convencional; en tanto un concreto de alta resistencia está definido exclusivamente por la resistencia a la compresión, cuyo valor mínimo es mayor que 700 kg/cm^2 .

Asimismo, la regulación referente al tamaño máximo del agregado presente en el concreto, tiene la finalidad de permitir una adecuada trabajabilidad del concreto y por ende la apropiada consolidación del concreto en el espacio existente entre cada una de las rejillas metálicas; además de evitar concentraciones de esfuerzo en el concreto colocado dentro de las rejillas metálicas.

Finalmente se evidencia que todas las referencias examinadas coinciden en establecer un esfuerzo a la resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 a los 28 días.



En síntesis, a partir de la revisión documental de especificaciones de las diferentes instancias técnicas en materia de sistemas de rejilla metálicas rellenas con concreto, se determina que las especificaciones técnicas para el concreto plasmadas en el Cartel de Licitación No.2010CD-000128-0DI00: “Instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el Río Virilla en la Autopista General Cañas, Ruta Nacional No.1”, fueron insuficientes debido a que no se especificaron criterios mínimos de relación a/c, metodología de curado, resistencia mínima del concreto para maniobras de traslado, así como criterios para la evaluación de desempeño y durabilidad.

Además, según la sección 602A.03 del CR-77, para todos los tipos de concreto, se deben indicar características especiales, cuando sean requeridas, sin embargo, en el cartel de licitación solamente se define que debe utilizarse un concreto Clase B con adición de súper plastificantes, dejando de lado la definición específica de aspectos como el tamaño máximo nominal y el contenido mínimo de cemento.

En cuanto a las características del concreto definidas contractualmente para alcanzar resistencias a edades tempranas mediante uso de súper plastificantes promotores de resistencia⁷, al ser contrastadas con los criterios establecidos en el Manual para construcción de puentes AASHTO, se evidencia que se debieron especificar criterios relacionados con desempeño, dado que estos concretos serían sometidos a diversos ciclos de esfuerzos. Además dicho manual considera que no es apropiado basarse solamente en el criterio de esfuerzo a compresión, coincidiendo con el criterio manifestado por LBFoster.

Previo a la ejecución de trabajos como los realizados en el puente sobre el río Virilla, la Administración debía investigar y establecer especificaciones claras, completas y suficientes para cada uno de los elementos que conforman el sistema constructivo de rejilla metálica rellena con concreto, entre ellos: el acero de las rejillas y el concreto con el que van a ser rellenas. Lo anterior toma mayor relevancia al considerar la importancia del puente sobre una ruta principal y adicionalmente, que no se tenía experiencia con el sistema de piso de rejilla rellena de concreto en el país, según lo declara la Dirección de Puentes en el oficio 103709, por lo que era importante tomar en cuenta aspectos técnicos adicionales respecto a los materiales de acuerdo con estas instancias técnicas.

⁷ Esto indirectamente implica producir un concreto con resistencias mayores a 280 kg/cm².



13. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL CONCRETO Y SU INFLUENCIA EN EL DESEMPEÑO DURANTE LA ETAPA DE SERVICIO

Tal como se evidenció en la observación 3, los documentos contractuales del proyecto “Instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el Río Virilla en la Autopista General Cañas, Ruta Nacional No.1” especifican como única característica que debe cumplir el concreto utilizado en el proyecto, el cumplimiento de la resistencia a la compresión de 280kg/cm² a 24 horas y 28 días. Sin embargo, durante la etapa de diseño se debe tener en cuenta que el concreto que se formula para cumplir requisitos estructurales (resistencia), no necesariamente cumplirá con requisitos funcionales que garanticen un desempeño adecuado durante todo el período de servicio. Por esta razón es necesario procurar un balance entre el uso del concreto y la resistencia final, los cuales deben regularse claramente en forma general, de manera que se garantice un concreto adecuado que logre un buen desempeño.

Asimismo en el apartado 11, se evidenció que el concreto producido para el proyecto, de forma general, cumple con los requisitos estructurales del cartel, por lo que en esta sección se considerarán otras variables que desde el punto de vista funcional pudieron incidir en el desempeño del concreto. Estas variables se compararán con las especificaciones detalladas en el Manual de Diseño AASHTO LRFD, el Manual de Construcción de la AASHTO LRFD y la Asociación de Rejilleros (BGFMA) señaladas en el apartado 12. Se aclara que si bien estas normas no se establecen en la documentación contractual como de acatamiento obligatorio, se evalúan debido a que permiten valorar parámetros que no fueron establecidos en la documentación contractual del proyecto.

Cabe aclarar que algunos de los aspectos abarcados en esta sección se valoran desde el punto de vista de una posible influencia en las propiedades del concreto, ya que para el presente estudio de auditoría, el cual fue efectuado a posteriori de concluido el proyecto, no se pueden comprobar debido a la imposibilidad de obtener muestras del concreto producido para este proyecto, con el fin de efectuar una investigación y análisis con mayor profundidad del concreto.

Se contó con la participación para el análisis de la presente sección de la Ingeniera Ana Lorena Monge Sandí, MSc, profesional que labora en el LanammeUCR quien es la Coordinadora del Laboratorio de Infraestructura Civil, la Ingeniera Monge posee una amplia experiencia en este campo.

13.1 Requisitos funcionales

Para efectos del siguiente análisis se referirá como requisitos funcionales a aquellas propiedades que le infieren aspectos de comportamiento al concreto, tales como trabajabilidad, durabilidad, contracción, entre otros desde el punto de vista de producto final, como producto en servicio.

Algunos de los requisitos funcionales que debe cumplir el concreto de relleno de las rejillas metálicas no se encuentran homologados en las normas internacionales y los criterios varían entre las fuentes consultadas, tal como se detalló en el apartado 12. En el caso del puente sobre el río Virilla, el fabricante del sistema de rejilla metálica (LB Foster) recomienda usar un concreto convencional, mientras que la Asociación BGFMA sugiere que se debería usar un concreto de alta resistencia o incluso de alto desempeño.

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 58 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------

La mayor parte de estos requisitos se definen durante la etapa de diseño de la mezcla de concreto y posterior producción. Es por ello que en esta sección se analizarán los diseños formulados para el concreto colocado en la losa sobre el puente del río Virilla.

Observación 5: El análisis de las propiedades físicas de los materiales y las relaciones de los diseños de mezcla del concreto, determinan algunos valores fuera de los límites recomendados en las normas de referencia, los cuales no fueron especificados en la documentación contractual.

13.2 Análisis de los diseños de mezcla formulados para el proyecto

Como se comentó en la sección 11, en el proyecto se diseñaron 4 tipos de mezcla no obstante, sólo dos fueron producidos para colocarse en el sistema de rejillas metálicas, para alcanzar resistencias a distintas edades, uno a las 24 horas y otro a los 7 días. Los dos diseños restantes no se incluyeron dentro del análisis realizado en dicha sección debido a que se usaron para obras menores como lo son las vallas peatonales y medianeras. En la Tabla 15 se detalla un resumen con los aspectos más relevantes establecidos en los diseños de mezcla.

Tabla 15. Resumen de los diseños de mezcla utilizados en el proyecto.

Tipo Identificación	Especificación	Cemento	Contenido de cemento (kg/m ³)	Relación a/c	Tamaño Máximo (mm)	Aditivos	Relación grava-arena
7 días 1-280-1-R-07 -15-1-1-819	f _c =280 kg/cm ² , acelerado a 7 días, revenimiento 15 cm+2,5 cm	Tipo 1	400	0,49	12,7	reductor de agua	0,88
24 horas 1-280-1-R-01 -55-1-1-706	f _c =280 kg/cm ² , acelerado a 1 día, flujo de rev. 55 cm+5 cm	Tipo 1	675	0,27	12,7	- Inhibidor de fraguado superfluidificante de alto rango	1,99

Fuente: Cemex Concreto S.A. de Costa Rica. Los diseños para 3 y 7 días no se incluyeron ya que se utilizaron para realizar obra menores tales como medianeras y vallas peatonales.

13.2.1 Materiales que componen el concreto

13.2.1.1 Ensayos del Cemento

De acuerdo con la información contenida en los informes de diseño de mezcla de concreto, el cemento utilizado es del tipo I Fortacem. Verificando los resultados de los análisis químicos y físicos realizados por parte del laboratorio de cementos de CEMEX, contra lo establecido en el Reglamento Técnico de Cementos (RTCR 383: 2004) se puede observar que los resultados a la fecha de emisión del informe de ensayos cumplen con lo establecido.

Con respecto al contenido de cemento utilizado en los diseños de mezcla, se observa que el valor mostrado para el concreto convencional (clasificándolo como concreto Clase B) es inferior a los



valores mínimos especificados en el manual de construcción de la AASHTO y en el CR-77, no así para lo indicado en el manual de diseño de la AASHTO (Ver Tabla 14). En tanto el contenido de cemento, para el concreto de alta resistencia, es mayor a los valores recomendados por los diferentes manuales.

13.2.1.2 Caracterización del agregado

Para evaluar las propiedades de los agregados se aplicará la norma de aplicación usual para la valoración de los materiales del concreto ASTM C33/C33M-08 “Especificación Normalizada de Agregados para Concreto”.

- Granulometría

Los agregados generalmente ocupan alrededor del 70% del volumen del concreto y por lo tanto se puede esperar que tengan una gran influencia en sus propiedades. Los agregados no solamente pueden influir en la resistencia del concreto, sino que también pueden afectar la durabilidad y el desempeño estructural del mismo.

Según los informes de calidad brindados por Cemex, se utilizaron tres tipos de material provenientes de Guápiles, los cuales son extraídos de río. El resumen del análisis granulométrico para el agregado grueso se puede observar en la Tabla 16. Además, el laboratorio de control de calidad de la empresa Contratista Soares da Costa, CACISA, efectuó ensayos de revisión de calidad de estos agregados.

Tabla 16. Resumen de análisis granulométrico, agregado grueso.

Malla		Porcentaje Pasando (%)				Norma ASTM C-33	
		Ensayos CEMEX		Ensayos CACISA			
(mm)	(in)	Piedra ¾"	Piedra ½"	Piedra ¾"	Piedra ½"	Límite Inferior	Límite Superior
25	1	100%	100%	100%	100%	-	-
19	¾	92%	100%	89%	100%	100%	100%
12,5	½	32%	98%	38%	97%	90%	100%
9,5	3/8	12%	72%	12%	81%	40%	70%
4,76	Nº4	3%	11%	2%	21%	0%	15%
2,36	Nº8	-	5%	1%	8%	0%	5%
1,19	Nº16	-	-	-	7%	-	-
0,6	Nº30	-	-	-	6%	-	-
0,3	Nº50	-	-	-	5%	-	-
0,15	Nº100	-	-	-	-	-	-
0,075	Nº200	0%	0%	-	2,9%	0%	1,5%

Fuente: Cemex Concreto S.A. de Costa Rica e informe de ensayo INF.40-2011 de CACISA (-): Dato No Reportado

El cumplimiento de los tamaños granulométricos se determina con los límites establecidos en la norma ASTM C-33, tal como lo especifica el CR-77 en la sección 703.02. Del análisis de la tabla anterior, para el agregado grueso se puede observar que:

Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 60 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------

- La curva granulométrica de Cemex es ligeramente más fina en la malla de 3/8", pues el agregado contiene un porcentaje pasando de 72% contra un límite máximo de la norma de 70%. El resto de la curva granulométrica, se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma. En cuanto a material más fino que la malla N°200 presente en el agregado, el porcentaje obtenido en la curva granulométrica, cumple con lo establecido en la norma de especificación que es 1% o bien 1,5% si se logra comprobar que el agregado está libre de arcillas o esquistos.
- Con relación a la curva granulométrica reportada por CACISA se observa que es más fina a partir de la malla de 9,5 mm (3/8 pulg). Respecto al material más fino que la malla N° 200, se tiene un porcentaje de 2,9% superando el límite establecido en la norma para este material. Es importante destacar que este requisito es esencial cumplirlo para evitar que las partículas que compongan el material más fino que la malla N°200 estén constituidas por arcillas y otras materias perjudiciales para la resistencia del concreto.

Adicionalmente, Cemex y CACISA realizaron un análisis granulométrico para el agregado fino, cuyo resumen se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Resumen de análisis granulométrico, agregado fino.

Malla		Porcentaje Pasando (%)		Norma ASTM C-33	
		Ensayos CEMEX	Ensayos CACISA		
(mm)	(in)	Arena		Límite Inferior	Límite Superior
9,5	3/8	99%	100%	100%	100%
4,76	N°4	94%	95%	95%	100%
2,36	N°8	82%	80%	80%	100%
1,19	N°16	64%	62%	50%	85%
0,6	N°30	39%	40%	25%	60%
0,3	N°50	16%	20%	5%	30%
0,15	N°100	1%	8%	0%	10%
0,075	N°200	0%	4,8%	0%	3% (*)

Fuente: Cemex Concreto S.A. y CACISA

(*)La norma ASTM C33 define dicho rango para concretos sujetos a la abrasión.

El cumplimiento de los tamaños granulométricos se determina con los límites establecidos en la norma ASTM C-33 tal como lo especifica el CR-77 en la sección 703.01. Del análisis de la tabla anterior, para el agregado fino se puede observar que:

- La granulometría resultante de CEMEX cumple en todos los puntos con los límites establecidos en la norma de especificación, a pesar de que en las mallas N°4 y N°8 los valores se encuentran sobre o cerca de los límites mínimos, mostrando que el material es un poco grueso.
- Respecto al informe de CACISA, se observa que la malla N° 200 contiene material más fino que el permitido, ya que muestra un 4.8% el cual es superior al 3% que especifica la norma para concretos que estarán sujetos a la abrasión, por lo que no cumple con la especificación.

Es importante cumplir este requisito para disminuir las probabilidades de contar con materiales perjudiciales en la resistencia del concreto que limitan la adherencia entre la pasta y el agregado grueso.

De lo observado en cuanto a las curvas granulométricas, se puede determinar que tanto el agregado grueso como el fino utilizados en general para la fabricación de los concretos del sistema de rejilla metálica rellena a media o altura completa, son aptos pues cumplen con lo establecido en las especificaciones de agregado para concreto ASTM C33. En tanto el material más fino que la malla N°200, evidenció exceso con respecto a los límites establecidos. Por otro lado, la literatura consultada indica que un excedente de material pasando malla N°200 podría afectar la adherencia de la pasta de cemento con el agregado grueso y disminuir la resistencia a la abrasión del concreto.

• Ensayos físicos

Como parte de la caracterización del material granular, la norma ASTM C33 establece requerimientos para las propiedades físicas de los agregados, entre estas: resistencia a la abrasión, cantidad de partículas friables y arcillas, impurezas, entre otras. En la Tabla 18 se detallan los valores obtenidos por los laboratorios de ensayos de calidad.

Tabla 18. Caracterización física de los agregados gruesos utilizados en los concretos.

Tipo Agregado	Ensayos	CEMEX	CACISA	Especificación
Grava 3/4	Resistencia a la abrasión	26,70%*	21.00%	40% máximo
	Partículas Friables	-	0,45	3.0
	Disgregabilidad en sulfato de sodio ¹	0,14% *	3,9%	18% máximo
	Contenido de álcalis (Na ₂ O)	0,005%*	-	-
	Contenido de álcalis (K ₂ O)	0,0002%*	-	-
	Porcentaje de caras fracturadas	98,73% &	-	-
	Porcentaje de partículas planas	10,11% &	-	-
Grava 1/2	Resistencia a la abrasión	-	21.00%	40% máximo
	Partículas Friables	-	0,7	3.0
	Disgregabilidad en sulfato de sodio ¹	-	4,4%	18% máximo
	Contenido de álcalis (Na ₂ O)	-	-	-
	Contenido de álcalis (K ₂ O)	-	-	-
	Porcentaje de partículas planas	-	-	-
	Porcentaje de caras fracturadas	95,8%	-	-

(1) Ensayo conocido también como Pérdida por Sanidad.

(*) Resultados correspondientes a Julio 2009, según informe CEMEX.

(&) Resultados correspondientes a Agosto 2010, según informe CEMEX.

Fuente: Cemex Concreto S.A. y CACISA

Con respecto al agregado grueso, se compara contra los requisitos establecidos en la Tabla 3 de la norma ASTM C33, determinando que:

- De los resultados reportados por la empresa CEMEX, para la grava de tamaño de ½" no se tiene referencia del resultado de los siguientes ensayos: abrasión, sanidad, partículas friables

y arcillosas, disgregabilidad del agregado con sulfato de sodio, contenidos de álcalis, partículas planas y caras fracturadas tal como se detalla en la Tabla 19 que la norma solicita. En tanto que la grava de tamaño de $\frac{3}{4}$, reporta un porcentaje de abrasión mucho menor que el valor máximo permitido por las especificaciones, cumpliendo con este requisito.

- En cuanto a los resultados incluidos en el informe de CACISA, se observa un porcentaje de partículas friables y arcillosas inferior al valor establecido como límite máximo. Por otro lado, el ensayo de abrasión con la Máquina de Los Ángeles determina una pérdida de 21%, siendo menor que el límite indicado. Por último el resultado de disgregabilidad del agregado en el sulfato de sodio es satisfactorio con los límites establecidos con un valor de 4.4%.

Tabla 19. Caracterización física de los agregados finos utilizados en los concretos.

Tipo Agregado	Ensayos	CEMEX	CACISA	Especificación
Fino	Impurezas Orgánicas	1	Sin impurezas	Sin impurezas
	Disgregabilidad en sulfato de sodio ¹	1,81%*	4,9%	10% máximo
	Contenido de álcalis (Na ₂ O)	0,005%*	-	-
	Contenido de álcalis (K ₂ O)	0,0002%*	-	-
	Partículas Friables	-	0,2	3.0

(1) Ensayo conocido también como Pérdida por Sanidad.

(*) Resultados correspondientes a Julio 2009, según informe CEMEX.

Fuente: Cemex Concreto S.A. y CACISA

Adicionalmente se compara los ensayos de caracterización del agregado fino con los requisitos establecidos en la Tabla 3 de la norma ASTM C33, determinando que:

- Los ensayos realizados por CEMEX reflejan que no se tiene referencia de las partículas friables y arcillosas. En cuanto a las impurezas orgánicas los ensayos demuestran que el agregado no cuenta con la presencia de materiales perjudiciales para el concreto. Respecto a la disgregabilidad del agregado al ser expuesto al sulfato de sodio se tiene que el dato se encuentra dentro del límite establecido por la especificación. Relacionado con la influencia de los álcalis del cemento con el agregado utilizado para el concreto, el informe no revela que se haya realizado el estudio correspondiente.
- Por su lado los resultados de CACISA muestran que las partículas friables y arcillosas están acordes con lo establecido en la especificación. Igualmente se observa que no existe presencia de materia orgánica perjudicial que afecte el resultado de la resistencia del concreto. La disgregabilidad del material en sulfato de sodio, muestra un resultado satisfactorio respecto a la norma de especificación. Por último no hay indicios de la realización del ensayo a la influencia de los álcalis del cemento con el agregado.

En definitiva se puede evidenciar que los ensayos de caracterización del agregado exhiben propiedades físicas que lo clasifican como un material apto para la elaboración de concreto, pues cumple satisfactoriamente con lo establecido en las especificaciones de los agregados para concreto.



- Tamaño máximo del agregado

Como parte de los ensayos realizados a los núcleos extraídos en las losas metálicas rellenas con concreto se determinó el tamaño del agregado el cual oscila en un rango de 9,3 mm (malla de $\frac{3}{8}$ " hasta 14,4 mm (malla de $\frac{3}{4}$ " (ver Tabla 8). Este tamaño de partícula se puede contrastar con los requerimientos de las normas AASHTO y BGFMA, así como con el requisito para el agregado grueso para hormigón de cemento portland del CR-77 (Tabla 703-2, sección 703.02) en cuanto a tamaño máximo indicados en la Tabla 14. En sección 602A.03 inciso a) se especifican dos rangos de granulometría a saber: tamaño agregado normal y grueso alternativo. Para efectuar el análisis se considera la granulometría de tamaño agregado normal debido a que el cartel de licitación y demás documentos contractuales no tipifican requisito alguno para el tamaño máximo o tamaño de graduación de los agregados.

Al valorar el tamaño máximo de 12,7 mm señalado en el CR-77, el cual es coincidente con los manuales de diseño y construcción, se determina que el 46% de las muestras de núcleos de concreto, tabuladas en la Tabla 8, se componen de agregados con un tamaño superior.

En tanto si se evalúa el criterio establecido por la Asociación de Constructores de Rejillas (BGFMA), plasmado en el documento "Specification for fully (partially) filled grid reinforced concrete deck systems" el cual especifica que para este tipo de rejilla, el tamaño máximo debe ser $\frac{3}{8}$ " (9,5mm), se observa que el 94% de las dimensiones del tamaño máximo medido en los núcleos muestreados en las losas metálicas rellenas con concreto sobrepasan el requerimiento mencionado. Este hecho se reafirma con los informes de diseño de mezcla realizados por el productor de concreto, en donde se establece que el tamaño máximo del agregado grueso corresponde al tamiz $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm).

Una de las razones de limitar el tamaño máximo del agregado se basa en que las partículas muy grandes pueden obstruir aberturas estrechas, en este caso corresponde al tamaño de las aberturas de las rejillas, y causar segregación durante la colocación o bien que no permita la consolidación apropiada del concreto y por lo tanto no se lleguen a rellenar adecuadamente todos los vacíos entre partículas, a pesar de que el concreto sea rico en pasta.

Al examinar visualmente los núcleos de concreto extraídos, no se observó segregación, ni presencia de vacíos apreciables (ver Fotografía 2). Por otro lado, la documentación analizada no contiene información sobre el efecto o posible influencia del uso de sobre tamaños en el desempeño del concreto en el sistema de rejilla metálica.



a) El agregado en el concreto no se aprecia segregado ni presenta vacíos importantes.

b) El agregado se encuentra adecuadamente distribuido sin presentar señales de segregación.

Fotografía 2. Núcleos extraídos de las losas metálicas rellenas con concreto. Fuente: LanammeUCR

13.2.1.3 Aditivos

La evaluación de las propiedades de los aditivos se realiza aplicando la norma ASTM C494/C494M-08a "Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto".

Cuando se utilizan aditivos en mezclas de concreto, se debe cuantificar adecuadamente las dosis a utilizar pues si se exceden las dosis recomendadas por el fabricante, la resistencia del concreto se puede ver influenciada, provocando en la mayoría de los casos una disminución significativa.

Se emplearon tres tipos de aditivos en la producción del concreto para la losa metálica, según se detalla en la Tabla 20. En el concreto con resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 acelerado a 7 días se incorporó un aditivo reductor de agua de rango medio y retardante. Este tipo de aditivo permite una reducción en la relación a/c mientras que se mantiene la trabajabilidad deseada. Igualmente, retarda el endurecimiento de la pasta, sin alterar los productos de la hidratación. De acuerdo con la información relacionada con este aditivo se determina que la dosis utilizada se encuentra dentro del rango recomendado por el fabricante.

El concreto de alta resistencia tuvo la incorporación de dos aditivos: el inhibidor de fraguado y el súper plastificante. El inhibidor de fraguado prolonga la plasticidad del concreto fresco, permitiendo contrarrestar las demoras en el mezclado y colocación. El aditivo súper plastificante es frecuentemente usado para concreto de alta resistencia ya que se pueden producir mezclas trabajables con relaciones a/c inferiores a 0,40 y produce concretos con altos revenimientos (150 a 250 mm). Ambos tipos de aditivos se utilizaron en el diseño de mezcla en una dosis que se encuentra dentro del rango recomendado por el fabricante.

Tabla 20. Resumen de aditivos utilizados en la losa del puente.

Descripción	Tipo	Tipo de Aditivo según ASTM C 494	Características de Desempeño
Reductor de agua de rango medio y retardante	7 días	Tipo B y Tipo D	-Reduce segregación en concretos de altos revenimientos -Reducción de agua de 12 a 20% -Incremento en el desarrollo de resistencia a compresión y flexión durante su vida útil
Para control de hidratación e inhibidor de fraguado	24 horas	Tipo B y Tipo D	- Retarda el fraguado del concreto -Desarrolla mayores resistencias iniciales (24 horas) y finales
Reductor de agua de rango completo (súper plastificante)		Tipo A y Tipo F	-Produce mezclas más cohesivas y sin segregación -Menor tiempo de fraguado y para el desarrollo de la resistencia -Incremento en el desarrollo de resistencias a compresión y flexión durante todas las etapas.

Fuente: BASF Construction Chemicals Latin America

La aplicación del aditivo retardante previene la formación de agrietamientos prematuros, producto de las deflexiones del concreto al ajustarse a la formaleta, debido al prolongamiento del periodo plástico. Adicionalmente los concretos con altos revenimientos fluyen como un líquido lo cual permite rellenar la formaleta eficientemente ya que se requiere poca vibración (concretos autocompactantes), por lo que es comúnmente utilizado en pisos o losas. Además que su uso contribuye a mitigar el agrietamiento, mejorar condiciones de consolidación y disminuir la contracción del concreto.

Los aditivos súper plastificantes, por si mismos, no influyen en la contracción, ni en el módulo de elasticidad y no tienen un efecto en la durabilidad del concreto. Sin embargo, al estar presentes en la mezcla, la relación a/c disminuye y por ende se reduce la contracción, además disminuye la permeabilidad, aumentando la durabilidad. La desventaja es que una sobredosificación puede causar exudación y segregación excesiva.

Por tanto se determina que los aditivos empleados en los concretos utilizados en el sistema de rejilla metálica, se dosificaron con estricto apego a las especificaciones establecidas por el fabricante.

13.2.2 Relación Agua/Cemento

Uno de los aspectos fundamentales a considerar en el diseño de mezcla es la relación agua/cemento (a/c), esta relación influye en propiedades tales como trabajabilidad del concreto fresco, y en la resistencia y durabilidad en el concreto endurecido.

En el caso de la resistencia a compresión, la relación a/c juega un papel importante. Cuando el concreto se encuentra adecuadamente compactado, se dice que la resistencia es inversamente proporcional a la relación a/c, es decir que se obtendrán resistencias mayores conforme la relación a/c disminuya, tal como se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Efecto de la relación a/c en la resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días. Fuente: Mindness, 2003

En el caso de los diseños de mezcla utilizados en el proyecto, se puede observar que a menores relaciones de a/c se alcanzan resistencias de compresión mayores, tal como se detalla en Tabla 21 para el concreto.

Tabla 21. Comparación de resistencias con respecto a las relaciones a/c

Tipo Concreto	Resistencia a 28 días	Relación a/c
24 horas (Alta Resistencia)	699 kg/cm ² (69MPa)	0,27
7 días (Convencional)	419 kg/cm ² (41MPa)	0,49

Fuente: Diseños de Mezcla Cemex, elaborado por UAT, LanammeUCR

El hecho de que los concretos hayan alcanzado las resistencias para las cuales fueron diseñados, implica que se desarrolló una adecuada hidratación del cemento, lo cual está directamente regido por la relación a/c.

Adicionalmente, al no estar especificado un valor para la relación a/c del concreto que se requería para el proyecto, tanto en el cartel de licitación como en la documentación contractual, se contrastan las relaciones a/c mostradas en la Tabla 21 con los valores máximos establecidos en el Manual de Diseño AASHTO LRFD, el Manual de Construcción de la AASHTO y la Asociación de Rejilleros (ver Tabla 14).

Se determina que el concreto de alta resistencia muestra un valor menor al recomendado, para todas las referencias mencionadas. En tanto el concreto convencional se ajusta con el valor máximo de 0,49

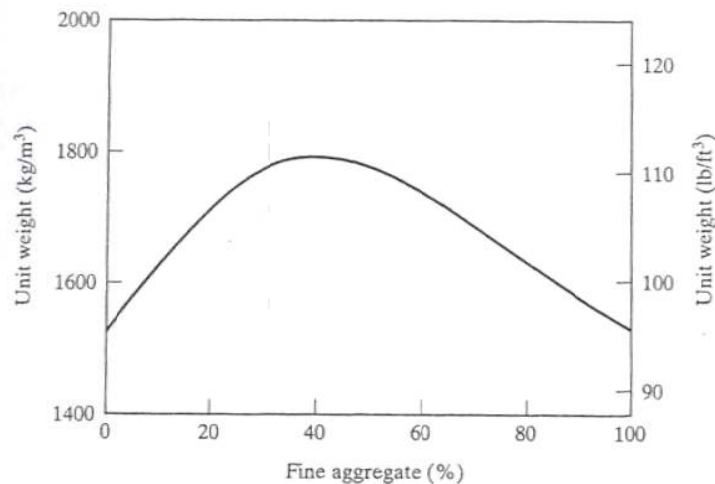
Informe LM-AT-55-11 (2/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto, 2011	Página 67 de 90
---------------------------	--------------------------------------	-----------------

indicado en el Manual de Diseño, no así con el valor de 0,45 especificado por el Manual de Construcción, ni con el valor de 0,4 propuesto por la Asociación de Rejilleros.

Es importante tener en cuenta que es responsabilidad de la Administración especificar claramente todos los aspectos relevantes que determinaran el tipo de concreto a utilizar en el proyecto, tal como la relación a/c. Así como la revisión y análisis de los diseños de mezcla aportados por el contratista, con el fundamental propósito de detectar oportunamente cualquier incumplimiento o desviación que pueda incidir en la calidad del concreto.

13.2.3 Relación Agregado Grueso/Agregado Fino (AG/AF)

Las relaciones AG/AF dependen mucho de la naturaleza del material y el grado de densidad óptima obtenida por la combinación de los agregados, que garanticen el mayor llenado de vacíos entre partículas en el concreto, sin involucrar la pasta. Generalmente, un contenido de 30% a 60% de agregado fino en la mezcla (ver figura 1), da como resultado una densidad óptima (menos vacíos entre partículas) de las combinaciones de agregado grueso y fino, y es a partir de estos porcentajes que se determinan las combinaciones apropiadas de agregados tomando en cuenta otros aspectos como la trabajabilidad del concreto. Estas proporciones corresponden a una relación grava/arena de 0,67 hasta más de 2,00.



Fuente: Mindess, 2003

Figura 3. Comportamiento de la densidad óptima de combinaciones de agregado grueso y fino con respecto a la cantidad de agregado fino.

Al analizar la información proporcionada por CEMEX respecto a los diseños de mezcla y proporciones de materiales, las relaciones grava/arena presentadas son apropiadas para las características de cada tipo de concreto.

13.2.4 Síntesis de los diseños de mezcla formulados para el proyecto

Del análisis de los diseños de mezcla se puede afirmar que los agregados utilizados para la producción de los concretos del sistema de rejillas metálicas satisfacen las especificaciones de propiedades físicas establecidas en la norma ASTM C33. Se observa que se supera el límite



establecido del material pasando la malla N°200, en dos de los tipos de agregados utilizados. Al analizar el tamaño del agregado, se determina que el 46% de las muestras ensayadas superan el criterio establecido en las normas AASTHO, contrariamente a lo que se precisa si se valora el criterio de la Asociación de Rejilleros, en donde el 94% de las muestras superan el criterio de tamaño máximo.

Con respecto a los concretos, se evidencia que las propiedades físicas y relaciones propias del diseño analizadas, si bien no satisfacen aspectos no especificados en la documentación contractual tales como contenido mínimo de cemento y relación a/c, no se tiene evidencia que permita afirmar que estas propiedades influyeron negativamente en el desempeño y durabilidad del concreto.

Se reitera que los aspectos analizados anteriormente no cuentan con especificaciones contractuales claramente establecidas por lo que no se consideraron como de acatamiento obligatorio, de ahí la necesidad de contrastarlas con otras normas de referencia.

13.3 Consideraciones generales que pueden influir en el desempeño del concreto

Las propiedades generales de los materiales y del concreto manufacturado definen el comportamiento que tendrá durante su fase de operación y servicio, de modo que entre mejores características tengan cada uno de estos componentes, mejor será el desempeño del concreto. Sin embargo, el desempeño podría verse influenciado durante la etapa de colocación, compactación y conformación del concreto, por diversos aspectos relevantes, los cuales se analizarán en este apartado.

13.3.1 Condiciones de colocación del concreto

Dadas las características de la obra en construcción, las condiciones de colocación del concreto deben considerar el vibrado del concreto, a pesar de que uno de los concretos utilizados en la obra es un concreto autocompactante. De acuerdo con la información recabada en las entrevistas y de la información aportada, se determina que en este proyecto se realizó el vibrado del concreto al ser colocado en las rejillas y en las uniones en el sitio de la losa del puente, tal como se observa en la Fotografía 3.

Adicionalmente, cabe destacar que de este proceso de vibrado, se espera que en la superficie empiece a aflorar la pasta, señal de que la vibración es suficiente y efectiva. Si se permite que haya mucha pasta en la superficie, puede ser que se generen segregaciones del concreto, dejando sin pasta la parte inferior de la rejilla.



Fotografía 3. Proceso de colocación del concreto en planta y en las uniones de las rejillas en sitio.
Fuente: LanammeUCR

En los núcleos extraídos del concreto de las rejillas por el LanammeUCR, no se observaron segregaciones de material ni falta de pasta en toda la longitud del núcleo ni se aprecian vacíos significativos.

La pasta que aflora en la superficie, es la que se nota en el acabado de las rejillas de la losa sobre el puente. Esta pasta puede ser susceptible al desgaste por el paso vehicular. Sin embargo, el desgaste que se produce en esta capa de pasta expuesta a pesar de que deja ver la rejilla (Fotografía 4), no muestra la condición típica de falla por resistencia a la abrasión ya que se puede apreciar que el agregado se queda intacto y no se desprende de la pasta.



Fotografía 4. Acero expuesto por desgaste de pasta, no se ve evidencia de desgaste significativo por abrasión de la superficie de concreto. Fuente: LanammeUCR.

13.3.2 Condiciones de curado del concreto

En cuanto al curado, el manual “AASHTO LRFD Bridge: Construction Specifications” en la sección 8.11.4, recomienda que en las superficies de concreto de puentes, el curado se realice utilizando la combinación de curado con el método de la membrana líquida (tipo 2) y el método del agua. En el comentario de la misma sección, se indica que para algunos concretos con relaciones agua/cemento bajas, como el caso de concretos de alto desempeño, la cura con el método de agua es más efectiva que cualquiera otra. Cuando se use el método compuesto de curado mediante membranas líquidas (sección 8.11.3.3), el concreto debe quedar completamente sellado inmediatamente después de que el agua ha desaparecido de la superficie por exudación.

Por su parte, las especificaciones de la Asociación de Rejilleros establece que *“los paneles prefabricados deben ser adecuadamente curados, hasta que el concreto alcance su resistencia de diseño de 28 días”*, de manera tal que se garantice una hidratación continua que permita un suministro de agua para reaccionar con el cemento, para que el concreto gane resistencia. Para tal fin a menudo se especifica un período mínimo de siete días.

Para el caso del concreto para la losa del puente en estudio, del análisis de la documentación aportada, se determina que el curado se realizó aplicando una membrana líquida de cura. No se encontraron registros sobre la aplicación de algún método complementario al curado mencionado.

13.3.3 Contracción del concreto

El fenómeno de contracción se presenta cuando el concreto pierde agua, generando agrietamientos por concentraciones de esfuerzos de tracción. La contracción puede presentarse en edades tempranas del concreto, cuando el proceso de curado es interrumpido, y abre paso a un agrietamiento temprano debido a que el concreto aún se encuentra débil para soportar los esfuerzos de tracción que se generan por este fenómeno.

La contracción es más común en superficies horizontales como pavimentos o losas donde es posible una evaporación rápida que puede generar problemas de durabilidad en el concreto, debido a los agrietamientos presentes, comprometiendo la integridad de la superficie y por lo tanto la vida útil de la obra.

Al observar el concreto de los núcleos extraídos de las rejillas de la losa del puente, no se observa agrietamiento originado por la contracción del concreto. Si se toma en cuenta que la losa compuesta por el entramado de rejillas no tiene juntas de contracción por donde se pueda inducir la grieta y que el elemento de concreto dentro de las rejillas es de un volumen pequeño, se considera que el fenómeno de contracción podría no ser crítico.

Adicionalmente, de los núcleos que fueron extraídos a la rejilla metálica no se evidenciaron indicios de grietas debido a la contracción. Cabe destacar que el fenómeno de contracción se manifestaría de manera similar en todo el concreto colado en las rejillas, produciendo agrietamiento y separación del concreto de los elementos de acero. Sin embargo estos deterioros no se observaron en las rejillas sobrantes que no fueron colocadas, por ende al ser el mismo tipo de concreto debió presentar un comportamiento similar para las rejillas colocadas en el puente.

13.3.4 Adherencia concreto-acero

Para este tipo de estructuras, el acero que tiene contacto directo con el concreto es liso, la adherencia entre el concreto y el acero de la rejilla es casi nula. Esto se puede observar en la Fotografía 5, donde lo único que se observa adherido a la pared de la rejilla es una porción de capa delgada de pasta (no hay presencia de agregado).



Fotografía 5. Adherencia insuficiente del concreto a las paredes de la rejilla de acero.

Fuente: LanammeUCR

Sin embargo, por parte de esta Auditoría Técnica, los daños observados en el concreto de la losa no se consideran producto de la falta de adherencia del concreto con el acero, sino más bien a la falla por deformaciones diferenciales por la interacción del concreto y el acero de las paredes de la rejilla. No obstante, esto no limita a que otros factores del concreto más allá de la resistencia a la compresión puedan influir en los deterioros presentados.

13.3.5 Abrasión del concreto

La abrasión del concreto está relacionada con el desarrollo de la resistencia y el endurecimiento de la zona superficial del concreto, en donde se concentran esfuerzos de alta intensidad. La resistencia a la abrasión requerida en un proyecto, es proporcional al uso que tendrá el concreto. De igual manera un concreto que tiene alta resistencia a la compresión, muestra una resistencia mayor a la abrasión.

A pesar de que no se aplicó algún ensayo de abrasión a los concretos suministrados para el sistema de rejilla compuesto, las características tales como relación a/c y agregado grueso resistente a la abrasión usadas en el concreto son apropiadas para resistir el desgaste por abrasión, según la literatura consultada. No obstante, la presencia de un exceso de material pasando la malla N°200 podría perjudicar la adherencia entre el agregado grueso y la pasta del cemento, afectando la resistencia a la abrasión.

13.3.6 Durabilidad del concreto

Cuando se habla de un concreto durable, se dice que el concreto soporta el proceso de deterioro al que se espera que esté expuesto y brinda la requerida serviciabilidad durante el período para el cual



fue diseñado. Adicionalmente se ve directamente afectado por las propiedades generales de la mezcla de concreto, tales como relación a/c, abrasión, contracción entre otras.

La relación a/c influye de manera significativa en la durabilidad, conforme la relación a/c decrece, las partículas de cemento se acercan entre sí, lo que contribuye al desarrollo de los enlaces tempranos, incidiendo directamente en el desarrollo de la resistencia con mayor rapidez y reduciendo la formación de microagrietamientos en la pasta.

El concreto producido en el proyecto contó con relaciones a/c bajas, que contribuyen a la impermeabilidad del concreto.

La durabilidad también puede verse afectada por agrietamientos producto de la contracción del concreto, sin embargo no se tiene evidencia de que el fenómeno de contracción del concreto sea el causante evidente del deterioro y de la disminución de la durabilidad del concreto. Es importante mencionar que la durabilidad del concreto no solo se ve afectada por el agrietamiento por contracción, también existen otros fenómenos químicos o físicos que la pueden afectar.

13.3.7 Estados de esfuerzos en el concreto

Cuando el concreto está sometido a una combinación de esfuerzos de compresión en diversas direcciones, tiende a mostrar una fracturación de la pasta de concreto producto de la formación de planos horizontales de falla. Cabe recordar que el esfuerzo requerido para inducir este tipo de falla es menor al esfuerzo requerido para la falla de compresión uniaxial.

Si estos esfuerzos son aplicados en ciclos de carga en dos direcciones, en un cubo de concreto, se forma un gradiente de esfuerzos biaxiales. Los modos de falla bajo el estado de esfuerzos biaxiales dependen de la respuesta microscópica del concreto al esfuerzo. Estos esfuerzos desarrollan la formación de grietas paralelas al plano biaxial de los esfuerzos, lo que promueve la formación de los planos horizontales de falla.

Teniendo en cuenta lo anterior, si a dicho cubo de concreto se le aplican ciclos de cargas a alta frecuencia (p.e. tránsito rápido), el aplastamiento del concreto se produce con mayor fuerza, iniciándose en la superficie un proceso de pulverización de la pasta en las orillas desprendiéndose partículas de los bordes (Ver Figura 4.a). Una vez que se pierden los bordes del cubo, los esfuerzos de compresión continúan ejerciendo acción sobre el concreto repetidamente formando planos horizontales de falla los cuales provocan que el concreto se desprenda en capas sucesivas de forma paulatina, según Figura 4.b. Conforme el deterioro avanza el gradiente de esfuerzos de compresión aplicado al concreto se hace mayor hasta cierta profundidad, llegando al punto en que el concreto se fragmente en pequeños pedazos (Figura 4.c). La presencia de daños en el concreto podría evitarse aumentando la resistencia a la compresión del concreto. El aumento en la resistencia no garantiza completamente el buen desempeño, ya que podría tener el efecto de incrementar la cantidad de ciclos de carga (considerando la misma frecuencia de aplicación) requeridos para evidenciar el deterioro.

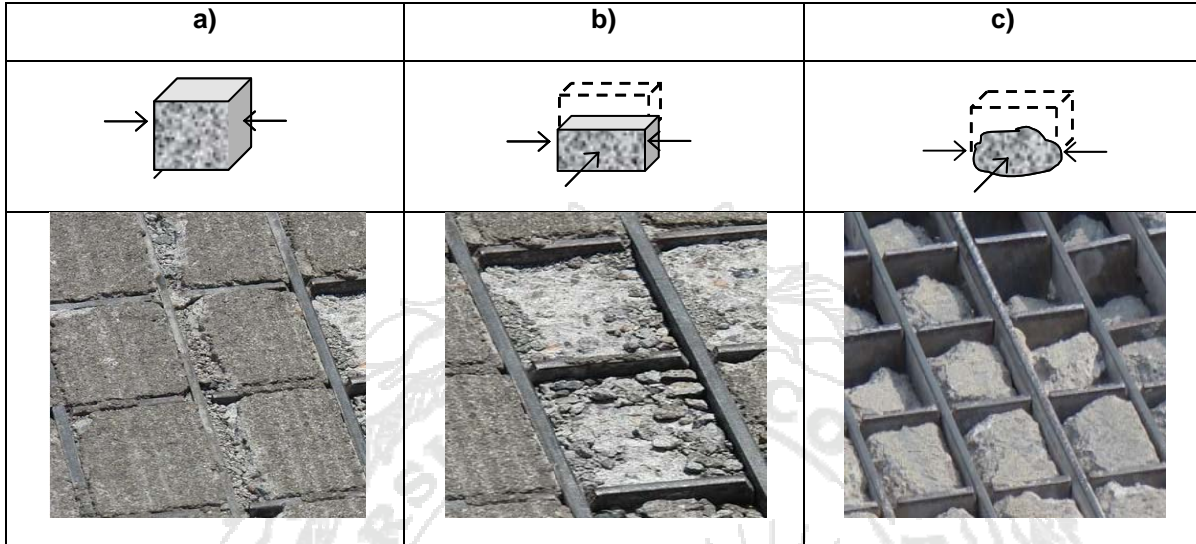
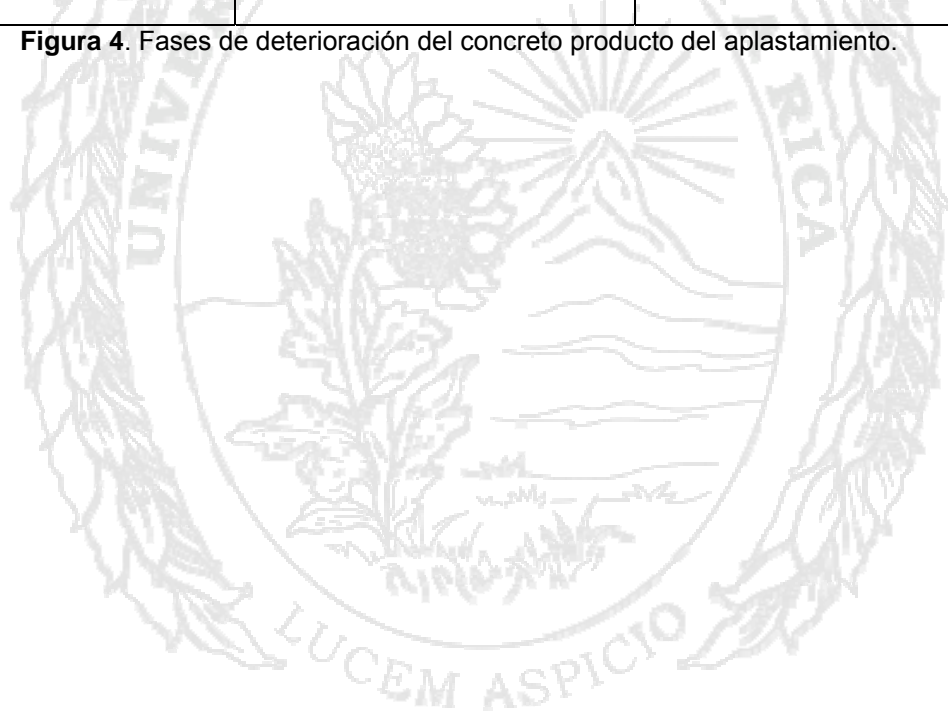


Figura 4. Fases de deterioración del concreto producto del aplastamiento.



14. CONCLUSIONES

A partir de las evidencias recopiladas y del análisis realizado por esta Auditoría Técnica, se emiten las siguientes conclusiones generales:

- El concreto utilizado cumple con los requisitos de resistencia mínima de 280 kg/cm^2 a la apertura del tránsito según lo establecido por la Administración, sin embargo para su uso en rejillas, no se incluyeron en el cartel los requerimientos que establecen los manuales de diseño y construcción de LRFD AASHTO y la Asociación de Rejilleros BGFMA en cuanto a la relación agua cemento y tamaño máximo especificados para este tipo de concretos. Por cuanto, existen factores adicionales a la resistencia del concreto, que la Administración debió especificar para el concreto requerido en el proyecto.
- La descripción del tipo de concreto utilizado en el proyecto se definió como un concreto Clase B, sin embargo, las solicitudes requeridas para el uso del concreto de inclusión de aditivos y rápida ganancia de resistencia a edades tempranas le confería propiedades especiales, las cuales no se detallaron con claridad en el cartel.
- Con base en la información aportada, se determinó que la cantidad de ensayos de compresión realizados al concreto utilizado para el relleno de las rejillas metálicas satisfacen los requerimientos de frecuencia de muestreo establecidos en la documentación contractual. Además este proyecto contó con una participación considerable de laboratorios que ejecutaron ensayos de calidad a saber Cemex, CACISA, MOPT y LanammeUCR.
- Es responsabilidad de la Administración mantener un análisis continuo y control de los resultados de ensayos al concreto realizados durante la fase constructiva del proyecto, debido a que son una herramienta de vital importancia para la toma de decisiones de control de la construcción así como de la producción, que permiten a la Administración garantizar de una manera razonable la calidad del producto que recibe y acepta en el proyecto en ejecución.

14.1 Resistencia a la compresión del concreto convencional

- Contrastando el cumplimiento contractual de la resistencia del concreto convencional con las especificaciones cartelarias establecidas para éste, se evidencia que los resultados de resistencia a compresión de todos los cilindros ensayados a los 28 días, cumplen satisfactoriamente con la resistencia mínima de 280 kg/cm^2 , inclusive llegando a desarrollar resistencias promedio de 419 Kg/cm^2 .
- A la fecha de apertura al tránsito de las diferentes fases se determina que entre el proceso de colado y la puesta en servicio transcurrieron al menos 10 días, lo que permitió que la resistencia a la compresión del concreto, alcanzara valores cercanos a los 350 kg/cm^2 , cumpliendo con el requisito establecido en la documentación contractual.
- Al comparar el requisito de resistencia 280 kg/cm^2 a los 7 días establecido en el diseño de mezcla por el fabricante de concreto, se determina que, en general, el 84% de las muestras ensayadas satisfacen la condición indicada. Sin embargo, esta condición no es un requisito contractual.

14.2 Resistencia a la compresión del concreto alta resistencia

- Del análisis general, a la edad de 24 horas, aproximadamente el 86% de las muestras ensayadas del concreto de alta resistencia cumplieron con la resistencia mínima establecida contractualmente.
- A la fecha de apertura se determinó que para tres de las fases, transcurrió un lapso entre 2 y 4 días desde la colocación del concreto, lo cual implica que éste desarrolló resistencias en promedio de 500 kg/cm^2 , cumpliendo con el requisito contractual de 280 kg/cm^2 a 24 horas.

14.3 Resistencia a la compresión de los núcleos de concreto extraídos

- Los núcleos extraídos de la losa del puente por la empresa CACISA alcanzaron una resistencia a la compresión en promedio de 289 kg/cm^2 , a los 30 días de edad aproximadamente.
- Por su parte los núcleos extraídos por el LanammeUCR, determinan en promedio una resistencia a la compresión de 413 kg/cm^2 , a los 3 meses de edad aproximadamente.

14.4 Análisis estadístico y pago en función de la calidad

- El cartel de licitación y demás documentos contractuales no consideraron procedimientos estadísticos para determinar la variabilidad de la resistencia a la compresión y el nivel de calidad alcanzado por el concreto ni se especificó alguna metodología aplicable para determinar el pago en función de la calidad.
- El análisis estadístico del proceso productivo muestra un variabilidad del 5% para el concreto convencional con resistencia a la compresión a los 28 días de 280 kg/cm^2 .
- Del análisis de inferencia estadística de calidad de los resultados del concreto de alta resistencia, se deriva que los valores de resistencia a la compresión muestran que un 17% de los resultados son mayores a la condición contractual de 280 kg/cm^2 a las 24 horas.

14.5 Especificaciones cartelarias

- Las especificaciones para el concreto utilizado para relleno del sistema de piso de rejillas metálicas, establecidas en el cartel de licitación, contrato y documentos adicionales fueron insuficientes ya que consideraban únicamente como requisito de calidad/fabricación la resistencia a la compresión; por el contrario las especificaciones y referencias analizadas a nivel internacional (manuales AASHTO y especificación BGFMA) recomiendan que para las características físicas y de uso de este concreto se requerían criterios mínimos de relación a/c, tamaño máximo, metodología de curado, resistencia mínima del concreto para maniobras de traslado, así como criterios para la evaluación de desempeño y durabilidad.
- La especificación de resistencia a la compresión del concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ establecida en el cartel de licitación está acorde con las exigencias solicitadas al concreto de acuerdo con las normas emitidas por las entidades referentes de puentes consultadas.

14.6 Diseños de mezcla

- Para las características de contenido de cemento, tamaño máximo del agregado y relación agua/cemento indicadas en los diseños de mezcla no se establecieron criterios claros en las especificaciones contractuales por tanto en este informe no se consideraron como de acatamiento obligatorio.
- El análisis de la información de los materiales granulares contenida en los diseños de mezcla del concreto, con relación a las especificaciones de agregado para concreto ASTM C33, determina que:
 - El material más fino que la malla N°200 excedió en un 1,8% los valores permitidos.
 - Los ensayos de caracterización del agregado exhiben propiedades físicas que lo clasifican como un material competente para la elaboración de concreto, pues cumple satisfactoriamente con lo establecido en las especificaciones de los agregados para concreto.
 - El tamaño máximo del agregado grueso utilizado en el concreto es mayor que el requerido en las especificaciones del CR-77 (considerando la granulometría de menor tamaño indicada en la Tabla 703-2), los manuales de diseño y construcción de puentes LRFD AASHTO y la Asociación de Rejilleros (BGFMA) para este tipo de estructuras, sin embargo se evidencia que no influyó en la colocación, compactación y conformación del concreto en las rejillas, y tampoco en las resistencias obtenidas del concreto. No obstante, no se tiene evidencia de cómo influye en el desempeño del conjunto concreto-rejilla.
- Los aditivos utilizados en los concretos se dosificaron de acuerdo con las especificaciones establecidas por el fabricante. Su uso contribuye a desarrollar la resistencia del concreto y minimizar el agrietamiento al disminuir la relación a/c , mejorando las condiciones de consolidación y reduciendo la contracción del concreto.
- Con respecto a las relaciones a/c , al no estar contemplado un valor requerido en los documentos contractuales, se contrastan con las recomendaciones indicadas en la documentación de referencia (LRFD AASHTO y BGFMA), determinándose que el concreto convencional se ajusta con el valor máximo de 0,49 indicado en el Manual de Diseño, no así con el valor de 0,45 especificado por el Manual de Construcción, ni con el valor de 0,4 propuesto por la Asociación de Rejilleros.
- Las relaciones grava/arena presentadas son apropiadas para las características de cada tipo de concreto, según el análisis realizado a la información proporcionada por CEMEX respecto a los diseños de mezcla y proporciones de materiales.
- Era responsabilidad de la Administración revisar y analizar los diseños de mezcla aportados por el contratista antes de iniciar las labores en el proyecto, con el fundamental propósito de detectar oportunamente cualquier incumplimiento o desviación que pueda incidir en la calidad del concreto y solicitar las correcciones necesarias. Sin embargo, no se aportó evidencia de que la Administración objetara ninguno de estos parámetros.



14.7 Desempeño del concreto

- Con base en la inspección visual realizada a los núcleos extraídos en los paneles correspondientes al concreto producido para el proyecto, no se evidencia formación de vacíos significativos, ni segregación entre partículas.
- El curado se realizó aplicando una membrana líquida de cura, según la documentación aportada, no obstante, no se encontraron registros sobre la aplicación de algún método complementario al curado mencionado.
- De la inspección visual de los núcleos extraídos se determina que no hay evidencia suficiente para considerar que tanto la contracción o la falta de adherencia entre el concreto y la rejilla está provocando los deterioros del concreto.
- Para los concretos suministrados para el sistema de rejilla compuesto, no hay evidencia de que el concreto sea o no resistente a la abrasión pues no se aplicó algún ensayo de este tipo.
- No hay evidencia contundente para considerar que algún factor en particular tal como las condiciones de colocación, el método de curado, la contracción y la falta de adherencia entre el concreto y la rejilla, entre otros, estén provocando los deterioros del concreto, no obstante, no se debe descartar que la suma de diversos factores pueden provocar el deterioro por la interacción del sistema de rejilla metálica, la estructura del puente y el flujo vehicular.

15. RECOMENDACIONES

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

- Incluir dentro de los carteles de licitación de futuros proyectos, especificaciones más detalladas y explícitas sobre los requisitos que debe cumplir cada uno de los materiales a utilizar para evitar omitir aspectos relevantes que puedan repercutir directamente en el desempeño de la obra a corto o largo plazo.
- Incluir en los documentos contractuales de futuros proyectos la aplicación de metodologías estadísticas de control de procesos productivos para la evaluación de la calidad de los materiales utilizados en el proyecto como las establecidas en el “Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010” en su sección 107.05.
- Establecer el uso de metodologías aplicadas habitualmente a los diferentes procesos productivos para control y medición de variabilidad entre estas: gráficas de control estadístico (tales como gráficas de promedios y gráficas de recorridos), habilidad y desempeño, entre otras.

16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmadi, A.K. **Splicing Grid Reinforced Concrete Bridge Deck Panels Without Welding Using Conventional Rebar Methods**. Bridge Grid Flooring Manufactures Association, Estados Unidos, 1997.
2. Aitcin, P. **Concreto de alto desempeño**. Primera edición. 2008.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials. **AASHTO LRFD Bridge: Design Specification**. Segunda edición. 2004
4. American Association of State Highway and Transportation Officials. **AASHTO LRFD Bridge: Construction Specification**. Segunda edición. 2004.
5. American Concrete Institute, ACI Comité 214. **ACI-214R-02: Evaluation of Strength Test Results of Concrete**. 2002.
6. American Concrete Institute, Capítulo Costa Rica. **ACI-318S-08: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural**. 2008.
7. American Society for Testing Materials. **ASTM C33-11: Standard Specification for Concrete Agregates**. 2011.
8. Bridge Grid Flooring Manufactures Association. **TS-05: Specification for Fully (Partially) Filled Grid Reinforced Concrete Deck System**. 2011.
9. CACISA. **Informes de ensayo: INF. 40-2011, INF. 40^a-2011, INF. 405a-2011, INF. 435c-2011, INF. 436c-2011, INF. 437c-2011**. 2011.
10. CEMEX. **Informes: CRI-N17-PR-07-F01, Control de Calidad: Concretos- II semestre 2010 y I semestre 2011; Oficio CMXCCDN-002-F19, 2011; Procedimiento de elaboración de mezclas, 2011**.
11. Claybaugh, B.G. y Earls, C.J. **Fatigue and Strength Performance of Concrete-Filled Steel-Grid Bridge Deck**. Journal of Bridge Engineering ASCE, 2004.
12. Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). **Oficio DII-10-10-2549**. 2010.
13. Feldman, L.R. y Boulfiza, M. **Life cycle deterioration and cost comparison of bridge deck designs rehabilitation strategies**. University of Saskatoon, Canadá, 2008.
14. Gase, P.M. y Kaczinski, M.R. **The history and benefits of prefabricated reinforced concrete deck**. Bridge Grid Flooring Manufactures Association, Estados Unidos, 2009.
15. Illston, M y Domone, P. **Construction Materials, Their Nature and Behavior**. Tercera Edición. 2008.



16. Keever, M. y Fujimoto, J. **Bridge Decks and Approach Slabs**. California Department of Transportation, Estados Unidos, 2000.
17. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). **Informes: I-0323-11, I-0324-11, I-0325-11, I-0358-11, I-0394-11**. 2011.
18. Memon, A.H. y Muffi, A.A. **Fatigue behavior of second generation of steel-free concrete bridge deck slab**. University of Manitoba, Canadá, 2005.
19. Mindess, S, et al. **Concrete**. Segunda edición. 2003.
20. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. **RTCR 383: 2004: Cementos Hidráulicos, Especificaciones**. 2005.
21. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. **Cartel de Licitación No. 2010CD-000128-0D100: Apartado 34.10**. 2010.
22. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. CR-77: **Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes**. 1978.
23. Moreau, W.J. **Understanding the limitations of exodermic bridge decks: A case study on the Kingston-Rhinecliff Bridge**. Taylor and Francis Group, Inglaterra, 2009.
24. Neville, A. **Tecnología del Concreto**. Primera edición, 1999.
25. Xu, W. y Zhang, X.N. **Experimental and numerical simulation study on the crack of steel orthotropic bridge deck pavement**. China University of Technology, China, 2008.
26. Young, F, et al. **The Science and Technology of Civil Engineering Materials**. Primera edición. 1998.

17. ANEXOS

ANEXO A1. Gráficos del análisis de frecuencia normal y de frecuencia acumulada para concreto convencional

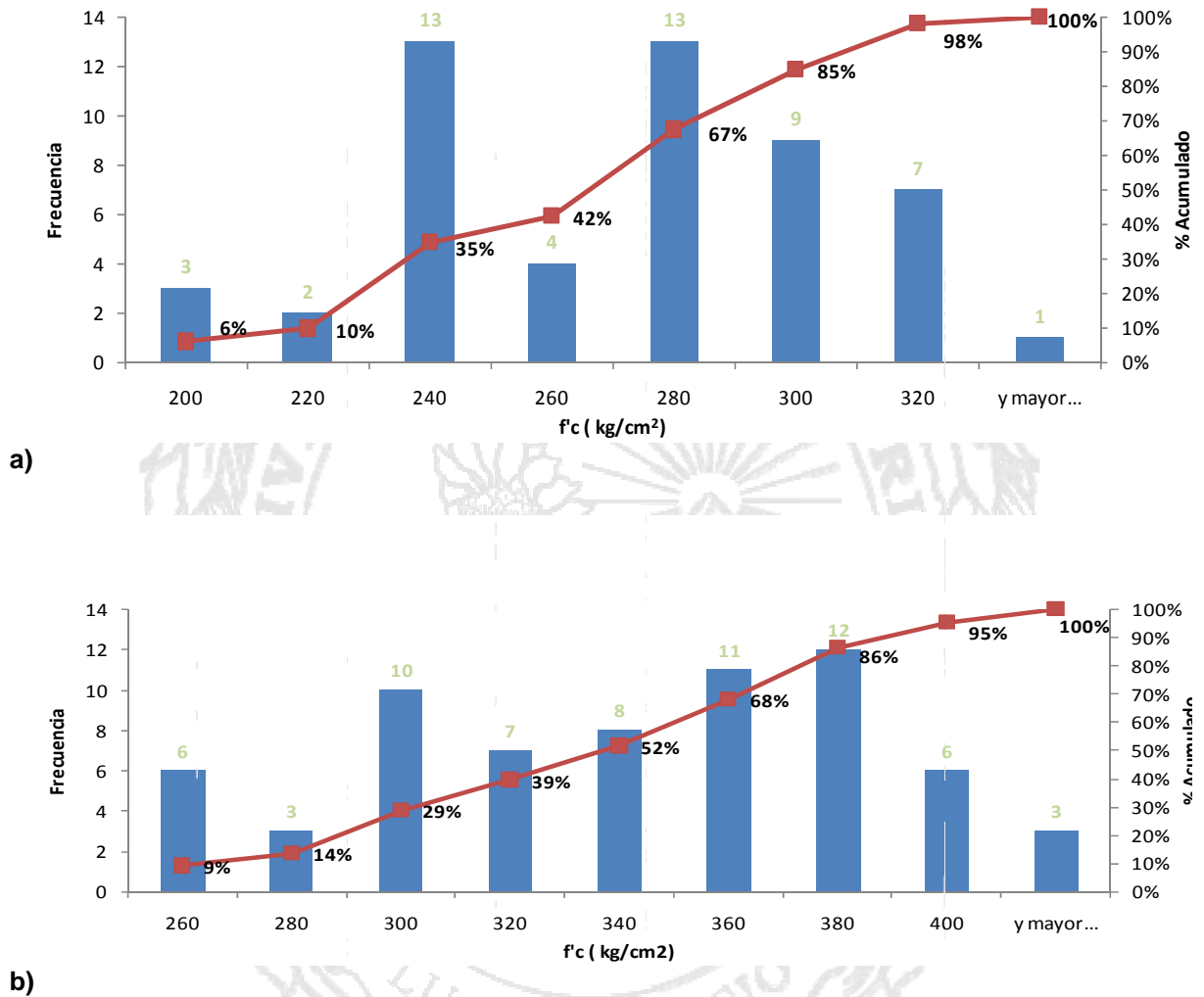
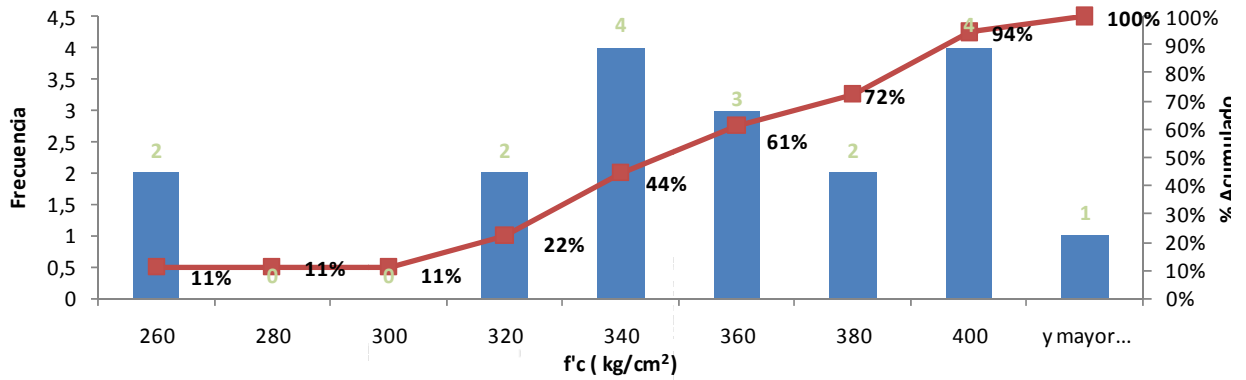
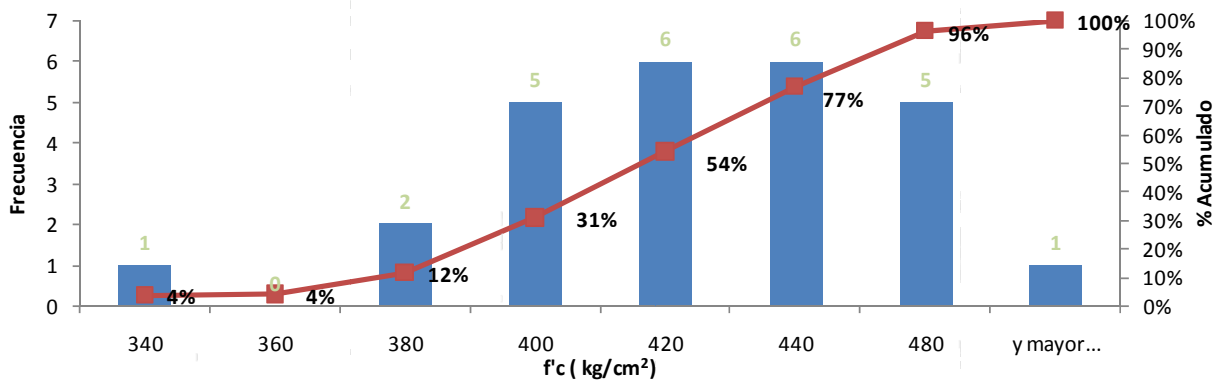


Figura A.1.1. Análisis de percentiles para los valores de resistencia a la compresión de cilindros de concreto convencional. a) edad 3 días de colados. b) edad 7 días de colados

Elaborado por: UAT-LanammeUCR



a)



b)

Figura A.1.2. Análisis de percentiles para los valores de resistencia a la compresión de cilindros de concreto convencional. a) edad 14 días de colados. b) edad 28 días de colados

Elaborado por: UAT-LanammeUCR

ANEXO A2. Gráficos del análisis de frecuencia normal y de frecuencia acumulada para concreto de alta resistencia

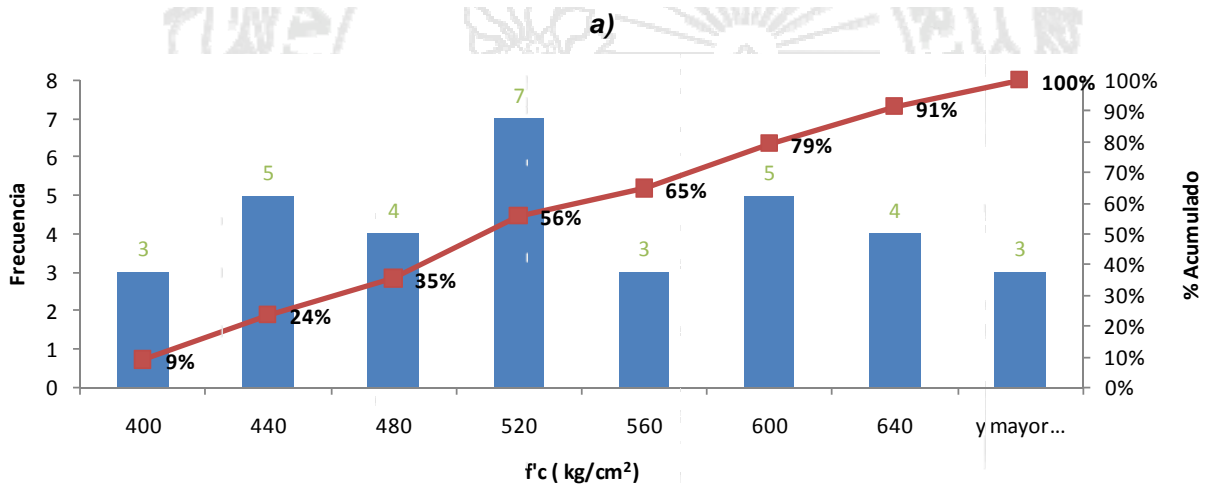
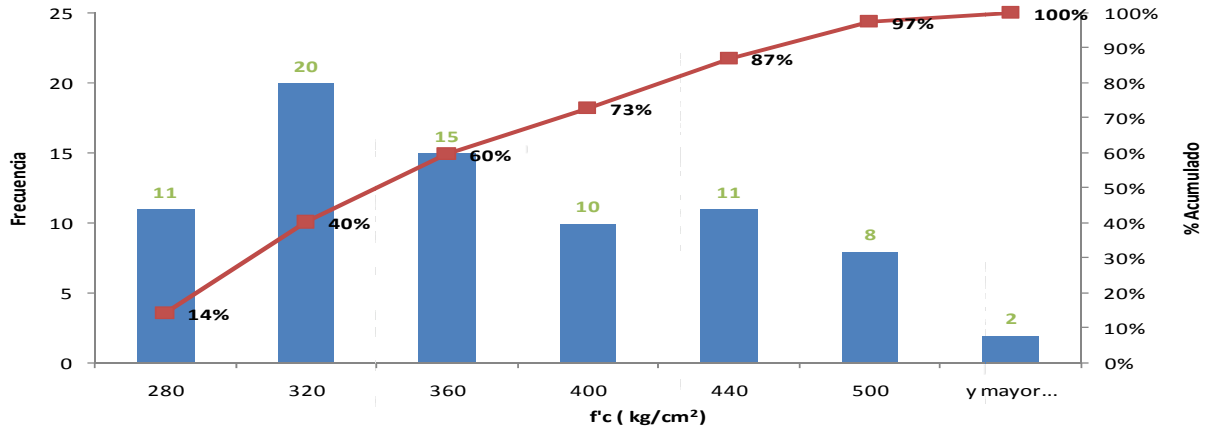


Figura A.2.1. Análisis de percentiles para los valores de resistencia a la compresión de cilindros de concreto de alta resistencia. a) edad 1 día de colados. b) edad 3 días de colados

Elaborado por: UAT-LanammeUCR

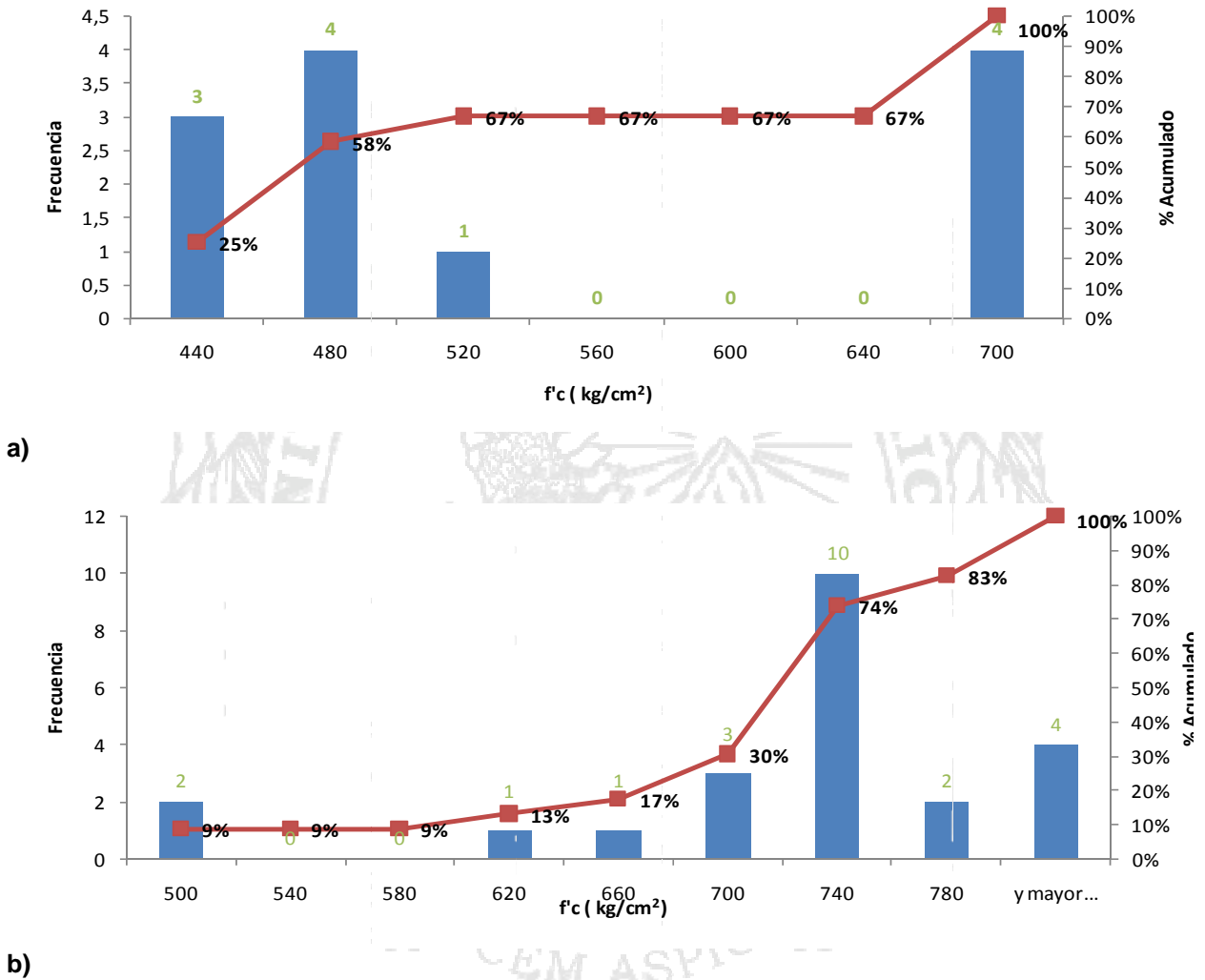
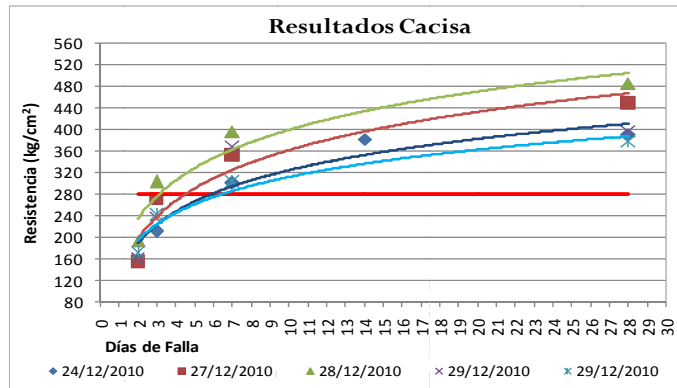
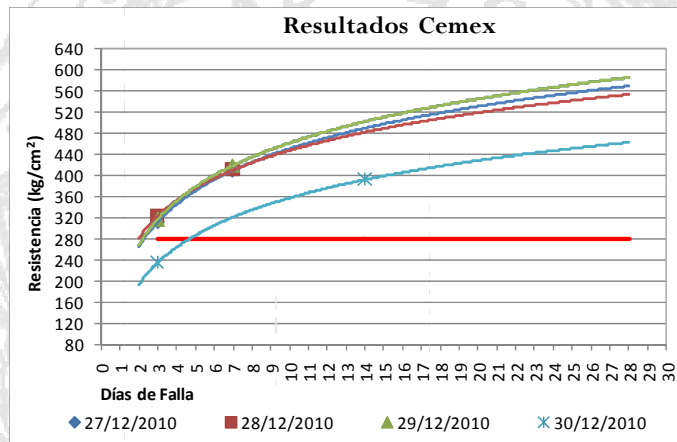


Figura A.2.2. Análisis de percentiles para los valores de resistencia a la compresión de cilindros de concreto de alta resistencia. a) edad 7 días de colados. b) edad 28 días de colados
Elaborado por: UAT-LanammeUCR

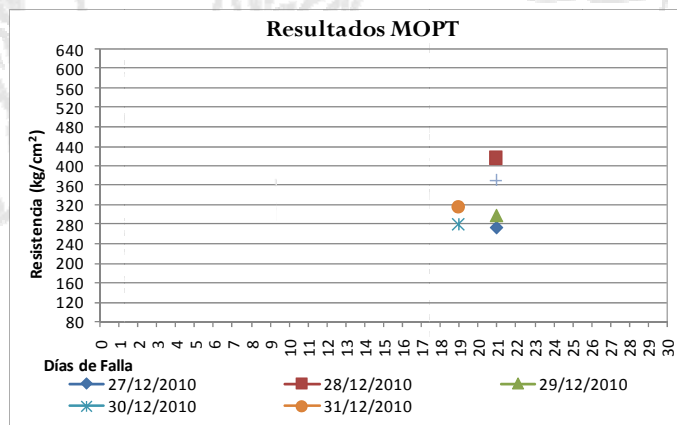
ANEXO B1. Curvas de resistencias del concreto convencional, para cada uno de los laboratorios involucrados



a)



b)



c)

Figura B.1.1. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto convencional reportados para el mes de diciembre por a) Cacisa b) Cemex c) MOPT

Elaborado por: UAT-LanammeUCR

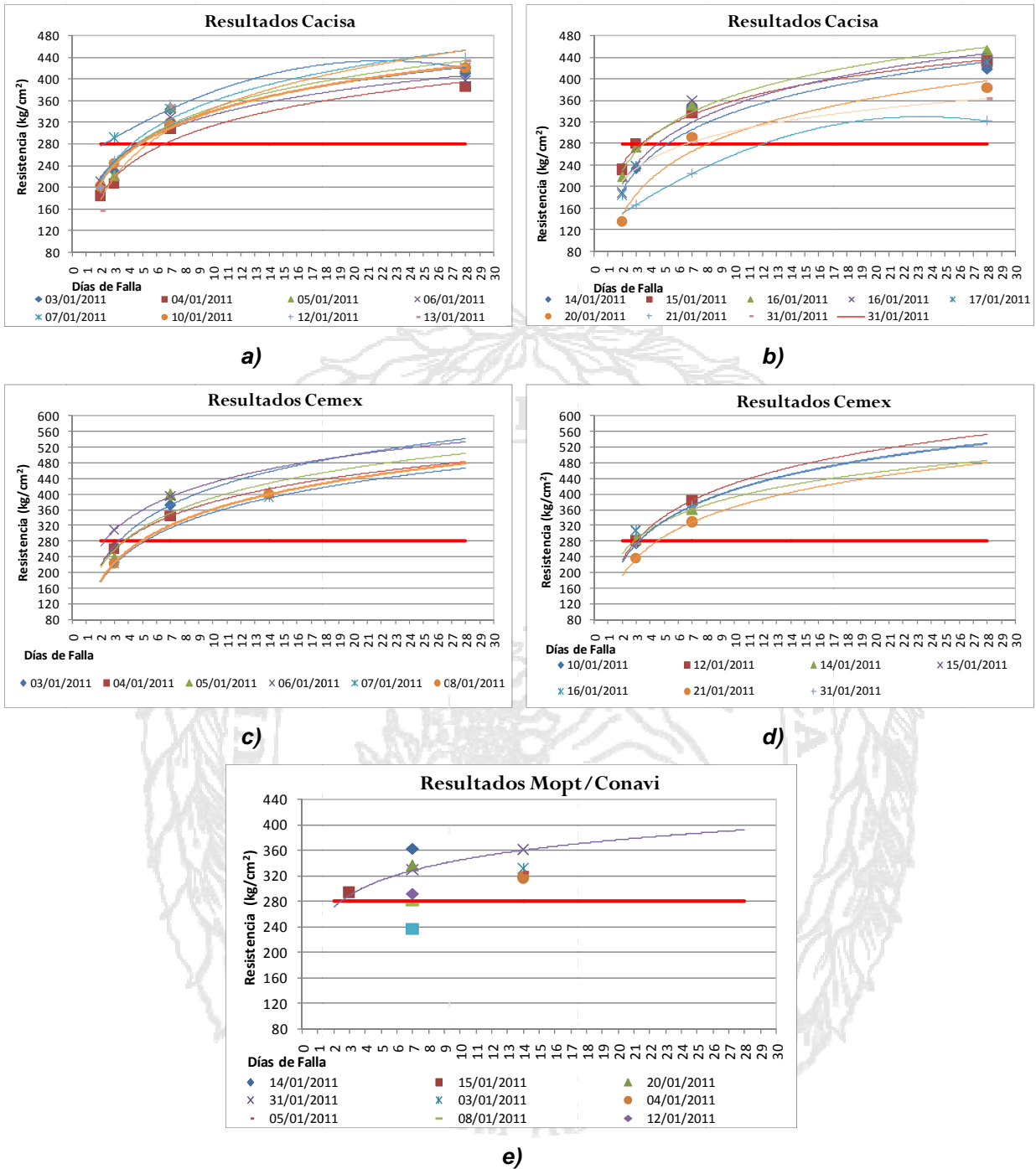
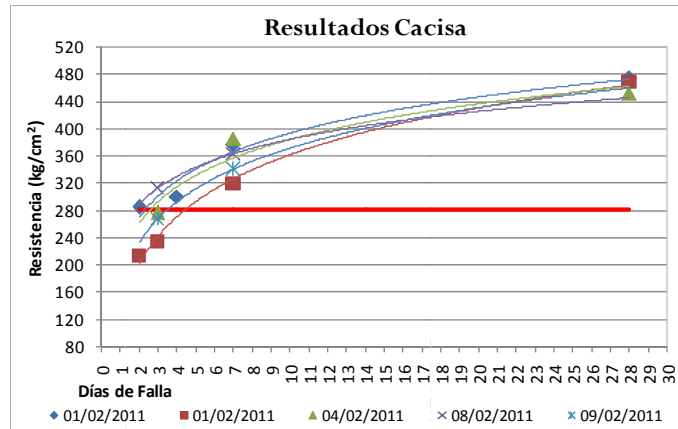
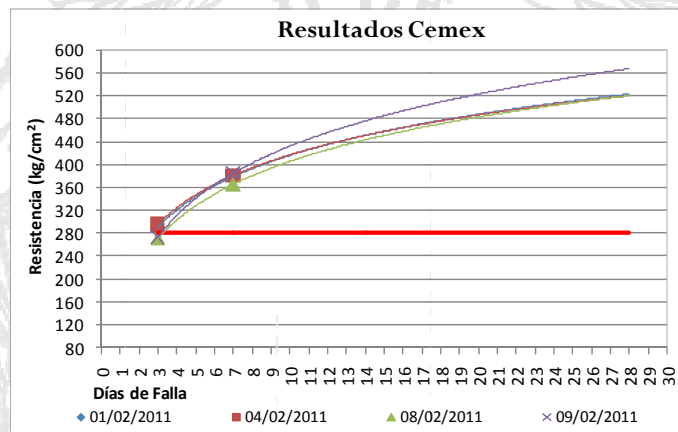


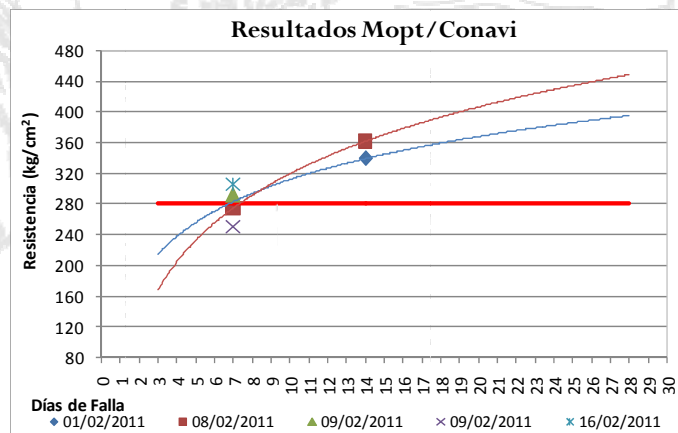
Figura B.1.2. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto convencional reportados para el mes de enero por a) y b) Cacisa c) y d) Cemex e) MOPT
Elaborado por: UAT-LanammeUCR



a)



b)

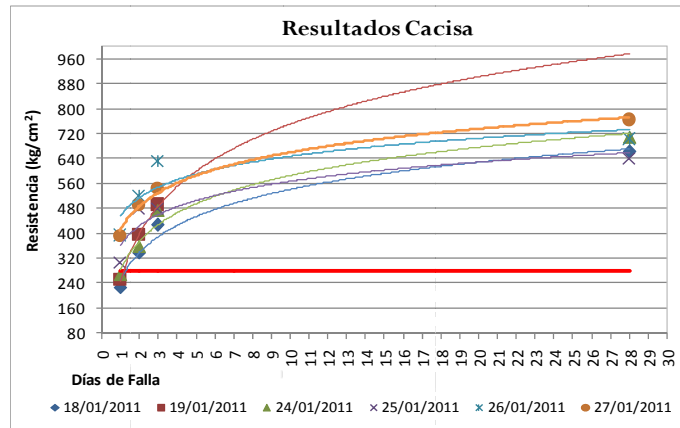


c)

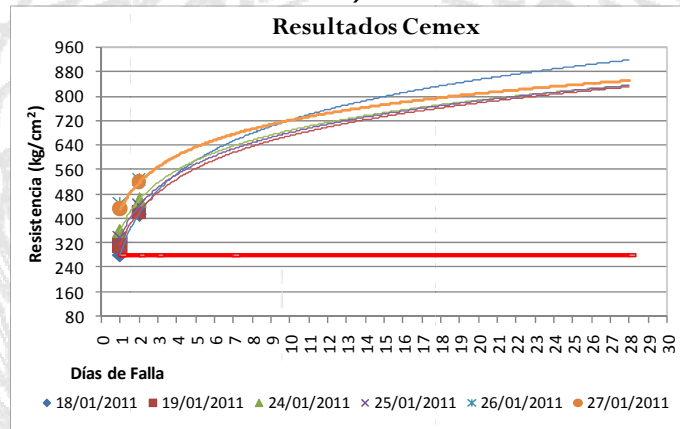
Figura B.1.3. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto convencional reportados para el mes de febrero por a) Cacisa b) Cemex c) MOPT

Elaborado por: UAT-LanammeUCR

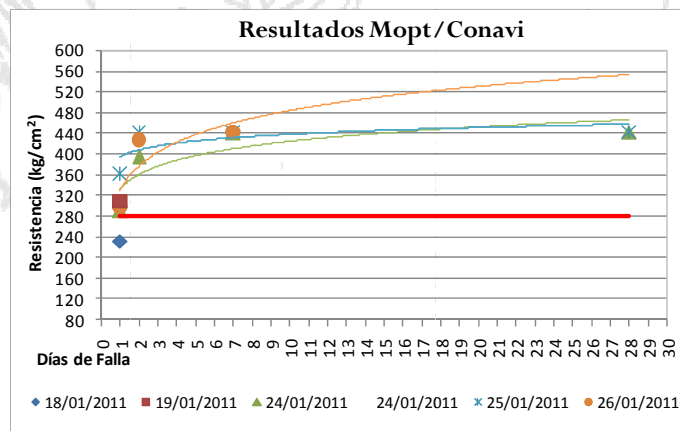
ANEXO B2. Curvas de resistencias del concreto de alta resistencia, para cada uno de los laboratorios involucrados



a)



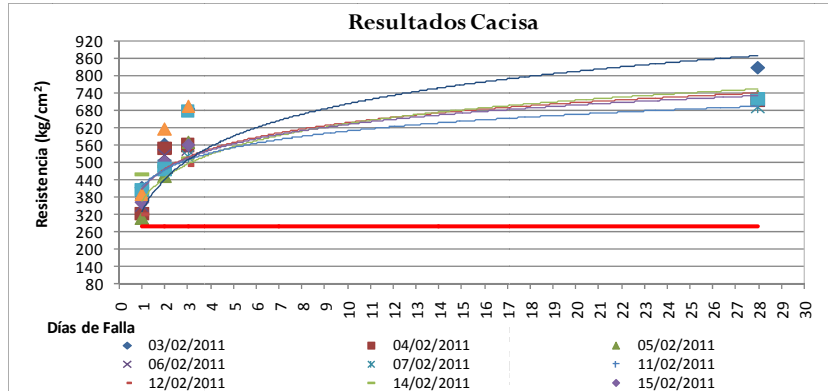
b)



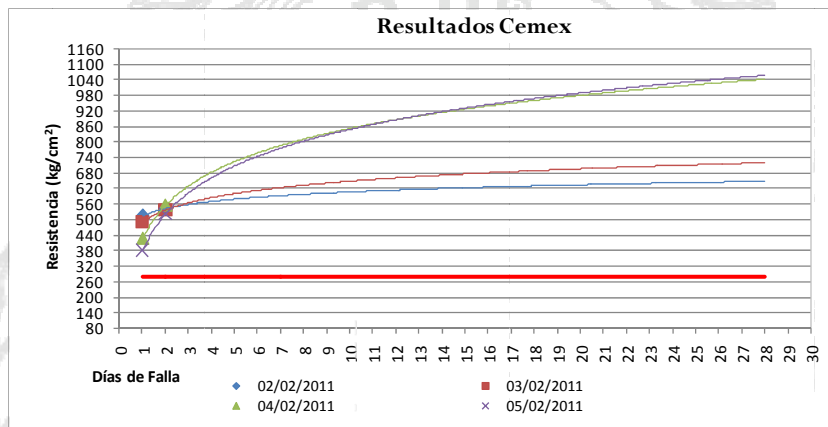
c)

Figura B.2.1. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de alta resistencia reportados para el mes de enero por a) Cacisa b) Cemex c) MOPT

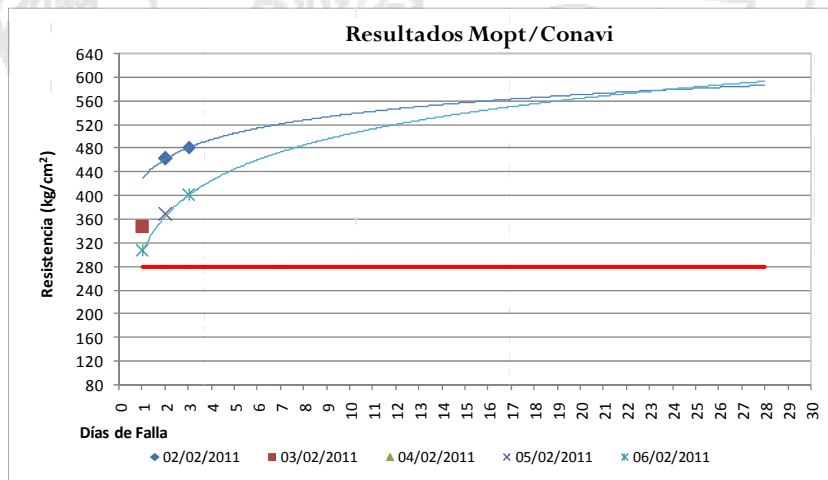
Elaborado por: UAT-LanammeUCR



a)



b)



c)

Figura B.2.2. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de alta resistencia reportados para el mes de febrero por a) Cacisa b) Cemex c) MOPT

Elaborado por: UAT-LanammeUCR



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-55-11

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA AL PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1

TERCERA PARTE
(3/3)

“DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica
Agosto, 2011

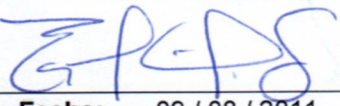
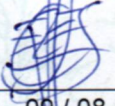


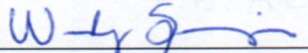
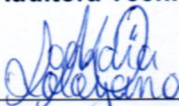
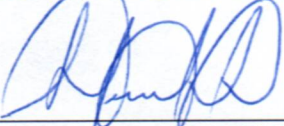
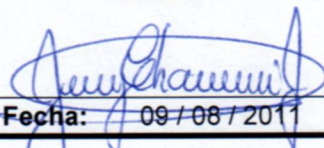
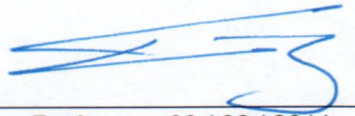
1. Informe LM-PI-AT-55-11		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: PROYECTO DE INTERVENCIÓN DE LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1, PARTE III: DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA		4. Fecha del Informe Agosto, 2011
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional 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		
6. Resumen: <i>Se procedió a realizar una auscultación de los deterioros presentados para clasificar, ubicar y cuantificar los mismos. La cuantificación de las áreas deterioradas pudo verificar la evolución de los deterioros y la efectividad de las reparaciones realizadas. En general, las áreas de deterioro por franja de paneles tipo B y E en el sentido Alajuela- San José presentan un área de deterioro mayor con relación a los otros paneles. En el sentido San José- Alajuela se observa que los paneles tipo E, en el tramo de 76,2m, presentan mayor área de deterioro respecto a los demás, mientras que en los tramos de 27,4m no se observa un patrón determinante. Se pudo cuantificar una cantidad de 287 paneles intervenidos entre el 8 de abril y el 8 de junio. De acuerdo con los deterioros presentados se evidencia que el desempeño estructural del puente no es el esperado, por lo que se realizó un estudio técnico para verificar las posibles causas que los provocan. Se pudo determinar que de acuerdo con las características de la intervención escogida y el sistema constructivo empleado, se presentan deflexiones importantes en los paneles que provocan que el concreto falle por aplastamiento, debido a que la rejilla mixta no actúa como un sistema compuesto. Por otra parte, se encontraron algunas deficiencias en el sistema constructivo que inciden a favor de mayores deflexiones y en consecuencia, a deterioros constantes en la rejilla mixta colocada. Además, en el proceso de auscultación visual se encontró que los drenajes diseñados en los planos no corresponden a los construidos. Esto se evidenció debido a que no se construyeron los drenajes especificados rectangulares y en su lugar se hicieron perforaciones a la rejilla, dejando expuestos algunos elementos del puente a la salida de agua.</i>		
7. Palabras clave Puente, losa, rejilla metálica, deterioros, desempeño funcional, desempeño estructural, drenajes	8. Nivel de seguridad: Ninguno	9. Núm. de páginas 77
10. Preparado por:		
Ing. Raquel Arriola Guzmán Auditora Técnica  Fecha: 09/08/2011	Ing. Víctor Cervantes Calvo Auditor Técnico  Fecha: 09/08/2011	Ing. Ana Hidalgo Arroyo Auditora Técnica  Fecha: 09/08/2011
Ing. Mauricio Salas Chaves Auditor Técnico  Fecha: 09/08/2011	Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc Auditora Técnica  Fecha: 09/08/2011	Ing. Sandra Solórzano Murillo Auditora Técnica  Fecha: 09/08/2011
11. Revisado por:		12. Aprobado por:
Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR  Fecha: 09/08/2011	Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng Coordinador Unidad de Auditoría Técnica  Fecha: 09/08/2011	Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 09/08/2011

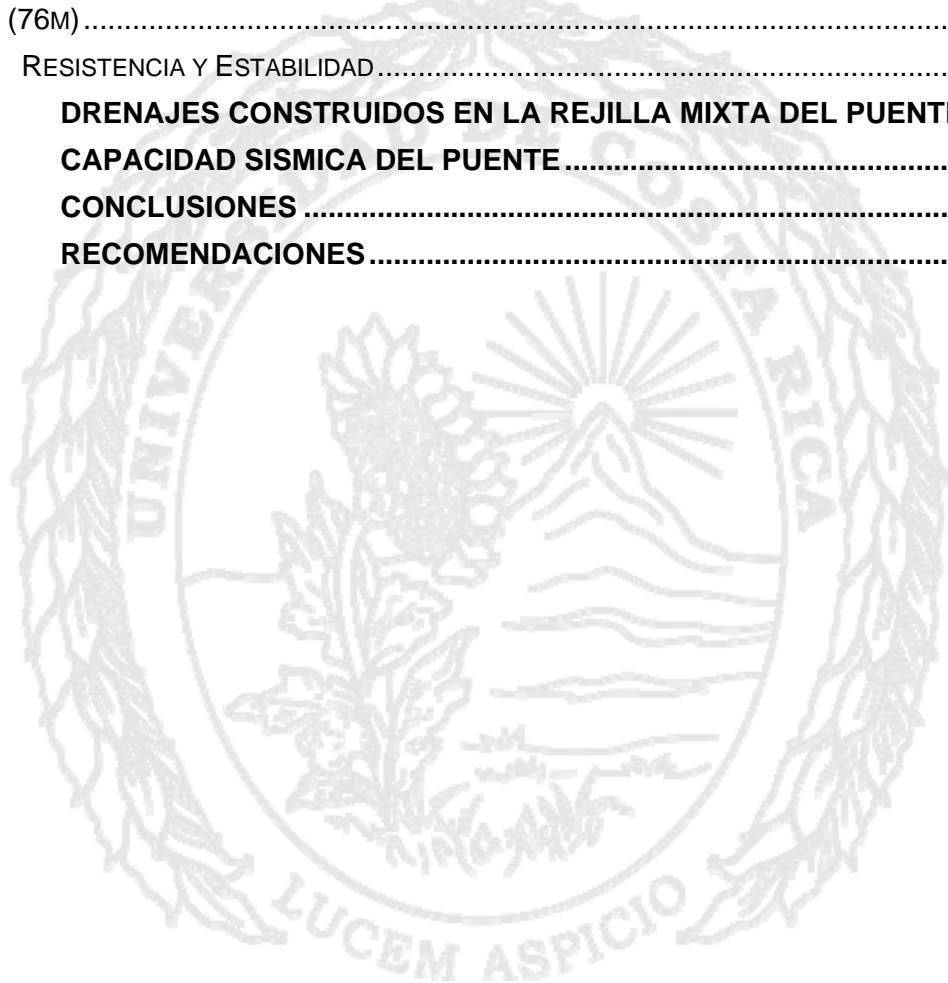


TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	8
1. FUNDAMENTACIÓN	11
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	11
3. ANTECEDENTES	12
3.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO	12
3.2 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE AUDITORÍA TÉCNICA.....	12
4. ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME	13
4.1 OBJETIVO GENERAL DEL INFORME	14
4.2 ALCANCE GENERAL DEL INFORME	14
5. INFORME TERCERA PARTE: “DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”	15
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5.3 ALCANCE ESPECÍFICO	15
6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	16
6.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	16
6.2 ALCANCE DEL PROYECTO.....	17
7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR.....	17
8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	18
9. GENERALIDADES	18
9.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA.....	19
9.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REJILLA MIXTA (REJILLA CON CONCRETO).	20
10. EVALUACIÓN DE DETERIOROS OBSERVADOS EN EL SISTEMA DE REJILLA	24
10.1 EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS.....	26
10.1.1 <i>SOBRE EL EQUIPO GEO3D.....</i>	<i>27</i>
10.1.2 <i>SOBRE LA AUSCULTACIÓN VISUAL</i>	<i>29</i>
11. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE DETERIOROS EN LA REJILLA MIXTA ...	31
11.1 RESULTADOS OBTENIDOS POR EL GEO3D.....	31
11.1.1 <i>EVALUACIÓN GENERAL DE DETERIOROS.....</i>	<i>31</i>
11.1.2 <i>EVALUACIÓN DETALLADA DE DETERIOROS.....</i>	<i>33</i>



11.2	RESULTADOS DE LA AUSCULTACIÓN VISUAL	41
12.	DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA MIXTA DE PROFUNDIDAD PARCIAL	48
12.1	CALIDAD DEL CONCRETO UTILIZADO	52
12.2	SISTEMA DE REJILLA MIXTA DE PROFUNDIDAD PARCIAL	52
12.3	CAMBIO DE DIMENSIONES DE LOS PANELES QUE CONFORMAN LA REJILLA MIXTA.....	56
12.4	JUNTAS LONGITUDINALES	57
12.5	DEFLEXIONES MEDIDAS CON ACELERÓGRAFOS EN LOS TRAMOS DE No.2 (27,4M) Y No.3 (76M).....	63
12.6	RESISTENCIA Y ESTABILIDAD.....	64
13.	DRENAJES CONSTRUIDOS EN LA REJILLA MIXTA DEL PUENTE	66
14.	CAPACIDAD SISMICA DEL PUENTE	72
15.	CONCLUSIONES	74
16.	RECOMENDACIONES	76





ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. NOMENCLATURA ASIGNADA POR TRAMOS, SENTIDO SAN JOSÉ-ALAJUELA.....	22
CUADRO 2. NOMENCLATURA ASIGNADA POR TRAMOS, SENTIDO ALAJUELA-SAN JOSÉ	23
CUADRO 3. RESUMEN GENERAL DE ÁREA DETERIORADA TOTAL DEL PUENTE, CUANTIFICADO CON GEO3D	32
CUADRO 4. RESUMEN DE ÁREA DETERIORADA EN M ² , PARA PANELES A, B Y C, EN TRAMOS DE 27,4 M, SEGÚN GEO3D	34
CUADRO 5. RESUMEN DE ÁREA DETERIORADA EN M ² , PARA PANELES D, E Y F, EN TRAMOS DE 76,2 M, SEGÚN GEO3D	35
CUADRO 6. SUMARIO DE CANTIDADES DE LA CONTRATACIÓN DIRECTA DE LA INSTALACIÓN DE LA REJILLA METÁLICA PARA SUSTITUIR LA LOSA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA NACIONAL N° 1	41
CUADRO 7. REJILLAS INSTALADAS	42
CUADRO 8. RESUMEN DE AUSCULTACIÓN VISUAL REALIZADA ENTRE EL 7 Y 8 DE ABRIL 2011.....	43
CUADRO 9. RESUMEN DE AUSCULTACIÓN VISUAL REALIZADA ENTRE EL 8 DE JUNIO 2011	45
CUADRO 10. DEFLEXIONES MEDIDAS POR MEDIO DE ACELERÓGRAFOS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PROYECTO PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA N°1.....	10
FIGURA 2. UBICACIÓN DE LAS PILASTRAS Y DE TRAMOS.....	19
FIGURA 3. ASIGNACIÓN DE TIPO DE LETRA A LO LARGO DE UNA CALZADA DEL PUENTE.	21
FIGURA 4. EVALUACIÓN CON EL GEO3D, 17 DE MARZO DE 2011	37
FIGURA 5. EVALUACIÓN CON EL GEO3D, 6 DE ABRIL DE 2011.....	38
FIGURA 6. EVALUACIÓN CON EL GEO3D, 13 DE ABRIL DE 2011.....	39
FIGURA 7. EVALUACIÓN CON EL GEO3D, 13 DE ABRIL DE 2011.....	40
FIGURA 8. DETALLE DE CONFORMACIÓN DE REJILLA TIPO B.	53
FIGURA 9. DETALLE DE CONFORMACIÓN DE REJILLA. VISTA LATERAL.....	53
FIGURA 10. DETALLE DE POSICIONES DE CONECTORES DE CORTANTE Y PERNOS.....	54
FIGURA 11. CAMBIO DE REJILLA.....	56
FIGURA 12. POSIBLE MOVIMIENTO EN LA JUNTA LONGITUDINAL QUE PROVOCA SEPARACIÓN EN LA SUPERFICIE.	57
FIGURA 13. PUNTOS DE CARGA EN EL TABLERO.	59
FIGURA 14. PUNTOS DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON DEFORMÍMETROS (LVDT) Y ACELERÓGRAFOS.....	60
FIGURA 15. CELDAS DE LA REJILLA RELLENAS DE CONCRETO SON SOMETIDAS A COMBINACIONES DE ESFUERZOS EN DOS DIRECCIONES EN LOS PUNTOS MEDIOS DEL LOS PANELES ENTRE APOYOS.....	63
FIGURA 16. DETALLE DE LOS DRENAJES EN PLANOS. CORTE TRANSVERSAL AL SENTIDO DE CIRCULACIÓN.	66
FIGURA 17. DETALLE DE LOS DRENAJES EN PLANOS. VISTA DE PLANTA.....	67



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. VISTA AÉREA DEL PUENTE VIRILLA-RN1 EN DIRECCIÓN AGUAS ARRIBA, HACIA EL NORTE.....	20
FOTOGRAFÍA 2. DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO EN LA REJILLA MIXTA.....	24
FOTOGRAFÍA 3. DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO EN EL SISTEMA DE LA REJILLA MIXTA.....	25
FOTOGRAFÍA 4. REJILLA FRACTURADA DEBIDO A LA PÉRDIDA DE CONCRETO ..	26
FOTOGRAFÍA 5. EQUIPO GEO3D.....	27
FOTOGRAFÍA 6. GRADO DE DETERIORO CRÍTICO (GRADO1)	28
FOTOGRAFÍA 7. DAÑO INTERMEDIO (GRADO 2).....	28
FOTOGRAFÍA 8. CONDICIÓN NORMAL (GRADO 3).....	28
FOTOGRAFÍA 9. REJILLA REPARADA (GRADO 4).....	29
FOTOGRAFÍA 10. REPARADA NUEVAMENTE EN CONDICIÓN GRADO 1 (GRADO 4-1).....	29
FOTOGRAFÍA 11. REPARADA NUEVAMENTE EN CONDICIÓN GRADO 2 (GRADO 4-2).....	30
FOTOGRAFÍA 12. ZONAS CENTRALES DE LA REJILLA COLADAS EN PLANTA.	50
FOTOGRAFÍA 13. ZONAS PERIMETRALES DE LA REJILLA COLADAS EN SITIO.....	51
FOTOGRAFÍA 14. CONECTORES DE CORTANTE Y PERNOS COLOCADOS.	55
FOTOGRAFÍA 15. ACERO DOBLADO PARA LA COLOCACIÓN DE CONECTORES DE CORTANTE.	55
FOTOGRAFÍA 16. SEPARACIÓN FORMADA EN LA UNIÓN DE PANELES TIPO A Y B.	58
FOTOGRAFÍA 17. DRENAJES CONSTRUIDOS EN EL TABLERO DEL PUENTE DEL LADO DE LA CALZADA.	68
FOTOGRAFÍA 18. DRENAJES CONSTRUIDOS EN EL TABLERO DEL PUENTE DEL LADO DE LA ACERA PEATONAL.	68
FOTOGRAFÍA 19. DRENAJES ADICIONALES DE 1.5" (3,75CM), CONSTRUIDOS EN EL TABLERO DEL PUENTE DEL LADO DE ACERA PEATONAL.....	69
FOTOGRAFÍA 20. SUPERFICIE INFERIOR DE LOS DRENAJES EN LA CALZADA.	70
FOTOGRAFÍA 21. PARTE INFERIOR DE LA REJILLA EXPUESTA DEBAJO DE LOS DRENAJES.....	71
FOTOGRAFÍA 22. DRENAJES DE LOSA ANTIGUA.	72



ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 1. CANTIDAD DE REJILLAS SEGÚN AUSCULTACIÓN REALIZADA LOS DÍAS 7 Y 8 DE ABRIL 2011 TRAMO DE 27,4 M.....	44
GRAFICO 2. CANTIDAD DE REJILLAS SEGÚN AUSCULTACIÓN REALIZADA LOS DÍAS 7 Y 8 DE ABRIL 2011, TRAMO DE 76,2M.....	44
GRAFICO 3. CANTIDAD DE REJILLAS SEGÚN AUSCULTACIÓN REALIZADA EL DÍA 8 DE JUNIO 2011, TRAMO DE 27,4 M	46
GRAFICO 4. CANTIDAD DE REJILLAS SEGÚN AUSCULTACIÓN REALIZADA EL DÍA 8 DE JUNIO 2011, TRAMO DE 76,2 M	46

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DETERIORO OBSERVADO EN LA REJILLA MIXTA.....	28
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE DETERIOROS PARA PANELES REPARADOS	29



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
Intervención de la losa del puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1
Contratación Directa No. 2010CD-000128-DI
TERCERA PARTE: Desempeño Funcional y Estructural del Sistema de Rejilla
Metálica

PROCESO DE COMPRA DE REJILLA

Monto original del contrato: \$2.327.785,00

Plazo original de ejecución: 100 días naturales

REPRESENTANTES ADMINISTRACIÓN

Departamento encargado de la definición del material a adquirir y sus especificaciones:
Dirección de Puentes, MOPT

Departamento encargado de la preparación del cartel de licitación y evaluación técnica-económica de ofertas: Gerencia de Contratación de Vías y Puentes, CONAVI

REPRESENTANTES CONTRATISTA

Proveedor de rejilla metálica: Corpac Steel Products, Corp.

Fabricante de rejilla metálica: LB Foster Fabricated Products

PROCESO DE INSTALACIÓN DE REJILLA

Monto original del contrato: ¢861.576.352,69

Plazo original de ejecución: 90 días naturales

Orden de inicio: 15 de Diciembre del 2010

REPRESENTANTES ADMINISTRACIÓN

Departamento encargado del diseño del proyecto: Dirección de Puentes, MOPT

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

Departamento encargado de la verificación de la calidad: Laboratorio de Geotecnia y Materiales del MOPT, Laboratorio del MOPT sede San Ramón, Departamento de Calidad de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, CONAVI.

REPRESENTANTES CONTRATISTA

Empresa contratista: Soares da Costa, Construcciones Centroamericanas S.A.

Laboratorio de control de calidad: CACISA, Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A.

Proveedor de concreto: CEMEX, Costa Rica

Aseguramiento de la Calidad: Organismo ensayo de CEMEX.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Actividad: Sustitución de la losa maciza de concreto por losa de rejilla metálica

Lugar: Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1

Longitud del puente: 160 metros

Cantidad de rejillas a colocar: 408 unidades, según contrato.

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
Intervención de la losa del puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1
Contratación Directa No. 2010CD-000128-DI
TERCERA PARTE: Desempeño Funcional y Estructural del Sistema de Rejilla
Metálica

Objetivo del informe:

Determinar las posibles causas que pudieron afectar el desempeño del puente sobre el Río Virilla en la Ruta No.1 y que afectaron principalmente en los deterioros prematuros de la rejilla mixta rellena parcialmente con concreto, instalada como sustitución de la losa original.

Alcance del informe:

El alcance de esta Auditoría Técnica abarca una cuantificación de los deterioros de la nueva superficie de rueda, observando su evolución de acuerdo con la severidad y además permitió determinar las posibles causas por medio de estudios técnicos.

Ubicación de la ruta auditada:



Figura 1. Proyecto Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1.
(Fuente: CONAVI)



1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la ley 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 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.” (El subrayado no es del texto original).

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.

Se pretende que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se conceptualizó, evaluó y se definió la solución, así como la forma en la que

Informe LM-PI-AT-55-11 (3/3)	Fecha de emisión: 09 agosto 2011	Página 11 de 77
------------------------------	----------------------------------	-----------------



se desarrolló este proyecto de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben mejorar tanto en este proyecto como en la intervención inminente en el sistema de puentes de la red vial para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de planteamiento y valoración insuficiente de soluciones, atrasos en el proceso licitatorio, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles, entre otros, de modo que se procure siempre una calidad esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.

3. ANTECEDENTES

3.1 Antecedentes del Proyecto

A mediados del mes de abril de 2009, la losa del puente sobre el río Virilla comienza a mostrar un deterioro en la junta de expansión, en el sentido San José Alajuela, localizada entre el segundo tramo de vigas y el tramo de cercha metálica. El CONAVI empleó diversas técnicas de intervención y reparaciones en dicha junta las cuales no tuvieron los resultados esperados, continuando este problema durante un lapso de 4 meses.

Este hecho apresuró la intervención de la losa en el puente, que a criterio de diferentes ingenieros mostraba un alto grado de deterioro, lo que provocaba la urgencia de la actuación. Debido a esto, se planteó la remoción y sustitución de la losa existente por un sistema de losa conformado por rejillas metálicas rellenas con concreto.

3.2 Antecedentes del Estudio de Auditoría Técnica

Dada la importancia que tiene la Ruta Nacional N°1 para el país, el interés de participación del LanammeUCR en el análisis de la intervención de la rehabilitación propuesta por el MOPT para el puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, fue generado y comunicado a dicha institución en setiembre del 2010, previo al inicio de la puesta en marcha de la ejecución de la intervención de la losa del puente, es decir antes del 15 de diciembre del 2010, fecha en que se dio la orden de inicio de este proyecto.

De conformidad con el plan de trabajo del LanammeUCR y bajo el marco de competencias que le asigna el artículo 6 de la Ley 8114 en materia de asesorías técnicas profesionales, fue remitido el oficio LM-IC-D-1105-10 de fecha 10 de setiembre de 2010, suscrito por el Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR y dirigido a la Ing. María Lorena López, Viceministra de Infraestructura y Concesiones del MOPT, mediante el cual se le solicitara información referente al



proyecto de rehabilitación del puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1. Específicamente, mediante el referido oficio, se le solicitó el cartel de licitación correspondiente al proyecto de intervención de cita. Lo anterior con la finalidad de proceder con los análisis correspondientes a la intervención propuesta para el puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N°1.

No obstante lo anterior, en razón de no recibir respuesta a la solicitud planteada mediante el oficio ya citado, se remite un segundo oficio por parte del Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR; específicamente el oficio LM-IC-D-1458-10, de fecha 26 de noviembre de 2010. En éste se indica que el estudio, con carácter de asesoría preventiva, cuyo objetivo principal hubiese versado sobre el impacto que tenía la sustitución de la losa en el comportamiento global del puente, no podría ser llevado a cabo por no contarse con la información solicitada.

En febrero del 2011, posterior al proceso constructivo de la losa de rejilla metálica y en virtud de la problemática presentada en la losa del puente, mediante el oficio DMOPT-1384-11 de fecha 9 de marzo del 2011 emitido por el Señor Ministro, Ing. Francisco Jiménez Reyes y dirigido a Ing. Alejandro Navas Carro, Director del LanammeUCR, quien solicita: *“el criterio experto y la realización de los estudios pertinentes a efectos de determinar a qué obedecen los problemas apuntados, ampliamente divulgados por la prensa nacional, medidas correctivas a implementar e incluso la determinación de eventuales responsabilidades por deficiencias en el diseño, el proceso constructivo y/o calidad de los materiales”*.

Atendiendo la solicitud del Ministro Francisco Jiménez Reyes y al analizar los términos de la solicitud dentro de un proceso de ejecución de un contrato de un proyecto concluido, se le indica a través del oficio LM-IC-D-283-2011 del 15 de marzo del 2011 emitido por el Ing. Alejandro Navas Carro, que considerando la importancia que tiene este puente para el país y de conformidad con las potestades que los artículos 5 y 6 de la Ley 8114 le confieren al LanammeUCR, se considera oportuno realizar una Auditoría Técnica a este proyecto.

Así las cosas, se da inicio al proceso de Auditoría Técnica al proyecto de intervención de la sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1 que da origen al presente informe.

4. ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME

El informe de *“Auditoría Técnica al Proyecto de Intervención de la Losa del Puente sobre el Río Virilla, Ruta N°1”* está constituido por tres partes, en cada una de ellos se examina un tema

Informe LM-PI-AT-55-11 (3/3)	Fecha de emisión: 09 agosto 2011	Página 13 de 77
------------------------------	----------------------------------	-----------------



específico relacionado con el proceso de compra e instalación de la rejilla metálica y la remoción de la losa existente. Cada parte, que constituye un informe individual, está titula de la siguiente manera:

- PRIMERA PARTE: “CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO”
- SEGUNDA PARTE: “VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”
- TERCERA PARTE: “DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”

A continuación se detalla el objetivo general y el alcance general del informe de Auditoría Técnica LM-AT-55B-11.

4.1 Objetivo general del informe

Realizar una evaluación de la gestión técnica en lo referente a los procesos de conceptualización del proyecto, proceso constructivo, control de calidad de los materiales incorporados y el desempeño de la rehabilitación del puente sobre el Río Virilla en la Ruta N°1, particularmente en lo ejecutado en la intervención propuesta de sustitución de la losa del puente.

4.2 Alcance general del informe

El alcance de esta Auditoría Técnica abarcó el análisis de la gestión técnica del proyecto en cuanto a la verificación de los estudios preliminares que dieron origen a la solución propuesta, revisión del diseño planteado, control de calidad de los materiales incorporados así como mediciones complementarias para evaluar el desempeño de la losa de rejilla metálica del puente en servicio. Dado que el presente informe es el producto de un procedimiento de Auditoría Técnica, desarrollado en el marco de las competencias asignadas en el artículo 6 de la Ley 8114 al LanammeUCR, se establece fuera de su alcance la realización de inspecciones o evaluaciones conducentes a determinar la condición de conservación actual del puente así como el análisis estructural global de la estructura que contemple la modelación estructural ó evaluación de capacidad sísmica del puente. Además no se realizó auscultación de la condición existente de la subestructura (pilas, bastiones y sus respectivas cimentaciones), ni de la superestructura del puente (tipo armadura). Se considera que estas labores son actividades propias de la Administración y que para su ejecución efectiva, deben formar parte de un plan de rehabilitación completo, suficiente y competente, que incluya los recursos necesarios para tales fines.



El informe de Auditoría Técnica es un insumo para la Administración, el cual se puede utilizar para implementar acciones que encaminen al mejoramiento, desde el punto de vista técnico ingenieril, de la planificación en la generación de proyectos, elaboración de diseños y estudios básicos, así como los respectivos procedimientos de contratación empleados para el desarrollo de obras viales y que a la vez faciliten el señalamiento, por parte de la Administración, de las responsabilidades correspondientes ante posibles incumplimientos y/o deficiencias señaladas en el presente informe.

5. INFORME TERCERA PARTE: “DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA”

El presente informe atañe a la TERCERA PARTE, relacionada con el desempeño funcional y estructural del sistema de rejilla metálica del proyecto de intervención de la losa del puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional N°1.

5.1 Objetivo General

Determinar las posibles causas que pudieron afectar el desempeño del puente sobre el Río Virilla en la Ruta No.1 y que afectaron principalmente en los deterioros prematuros de la rejilla mixta rellena parcialmente con concreto, instalada como sustitución de la losa original.

5.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar las áreas de deterioros presentadas en el sistema de la rejilla mixta.
2. Analizar la evolución de los deterioros presentados en el sistema de rejillas y las reparaciones realizadas a través del tiempo.
3. Determinar las posibles causas que influyeron en el deterioro prematuro del sistema utilizado para la sustitución de la losa del puente.
4. Evaluar el cumplimiento de los planos constructivos.

5.3 Alcance específico

El alcance de esta Auditoría Técnica abarcó una cuantificación de los deterioros de la nueva superficie de ruedo, observando su evolución de acuerdo con la severidad y además permitió determinar las posibles causas por medio de estudios técnicos.



6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

6.1 Información General

Esta intervención consistió en dos etapas claramente establecidas, iniciando con el proceso de licitación para la compra de las unidades de rejillas metálicas y la posterior contratación directa para la demolición de la losa existente e instalación del sistema de rejillas metálicas.

La rejilla metálica se adquirió del fabricante de rejillas LB Foster, mediante el proveedor Corpac Steel Products, Corp., seleccionado durante el proceso de licitación de compra promovido por la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del CONAVI.

En tanto, la empresa Soares da Costa fue la adjudicataria del proceso de contratación directa para la instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el río Virilla. Esta empresa contrató a la Cementera CEMEX para suplir el concreto requerido para este proyecto. Las actividades de colado del concreto se realizaron en dos sitios, el concreto colado para el relleno de las rejillas metálicas a media altura se realizó en el plantel de CEMEX, mientras que el colado de las juntas perimetrales de las uniones de las rejillas metálicas se llevó a cabo en el sitio de obra.

La actividad de supervisión durante la etapa de demolición de la losa, construcción e instalación del sistema de rejillas, le correspondió a la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes del CONAVI, quien contó con el apoyo del Laboratorio de Geotecnia y Materiales del MOPT, el Laboratorio del MOPT, sede San Ramón y la Departamento de Calidad adscrito a dicha gerencia, para la realización de los ensayos al concreto.

Por su parte, la empresa Soares da Costa, contó con los servicios del Laboratorio de CACISA para ejecutar las actividades de control de calidad durante la etapa constructiva. Mientras que la empresa productora CEMEX realizó su propio proceso de control de calidad del concreto fabricado y despachado a ambos sitios de colado.

El proceso de colocación de las rejillas se desarrolló en 4 etapas, abarcando inicialmente los carriles internos en cada uno de los sentidos San José-Alajuela, Alajuela-San José y finalizando con la colocación de los carriles externos y acera de paso peatonal. Cabe indicar que conforme cada una de las etapas se concluía, era inmediatamente puesta en servicio para la circulación del tránsito. Una vez abierto al público, en un lapso de 7 días se evidenció un proceso de deterioro acelerado en el concreto colado en las rejillas a media altura, el cual fue reportado a través de los medios de comunicación y el cual es el motivo de la elaboración del actual informe.

Informe LM-PI-AT-55-11 (3/3)	Fecha de emisión: 09 agosto 2011	Página 16 de 77
------------------------------	----------------------------------	-----------------



6.2 Alcance del proyecto

De acuerdo con el cartel de licitación para la compra de la rejilla metálica, se adquirieron para sustitución de la losa, 272 rejillas metálicas de 2,43m x 3,66m y 136 rejillas de 2,43m x 2,43m. Adicionalmente, se compraron 68 rejillas de 2,43m x 2,62m, las cuales serían utilizadas para el carril provisional planteado en la programación constructiva. Estas rejillas finalmente no fueron empleadas en la fase constructiva de la sustitución de la losa, tal como se había planificado.

En cuanto a la instalación de la rejilla metálica para la rehabilitación de este puente, el cartel de licitación definió las siguientes actividades:

- a. Control de tránsito en el puente 24 horas durante el período de intervención de la losa.
- b. Prefabricación de rejillas y de barandas definitivas en planta.
- c. Demolición de losa existente.
- d. Conexiones entre vigas de piso-rejillas.
- e. Instalación de rejillas y colado de las juntas perimetrales entre las mismas e instalación de 5 juntas de expansión.
- f. Acabados: instalación de barandas definitivas, las vehiculares serán de elementos prefabricados de concreto tipo New Jersey y las peatonales prefabricadas serán de acero estructural pintadas acorde con especificaciones AASHTO. Señalamiento horizontal.
- g. Apertura al tránsito.

Con relación a los roles ejercidos por cada una de las partes involucradas en el proyecto, se determina que el proceso de compra de rejillas y supervisión de la construcción estuvo a cargo del CONAVI; la elaboración del diseño y los planos constructivos del puente fueron responsabilidad de la Dirección de Puentes del MOPT. El suministro de todos los materiales, equipo, mano de obra y actividades constructivas necesarias para la realización de los trabajos de rehabilitación de la losa serían cubiertos por el contratista.

7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR

- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng. (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas);
- Ing. Mauricio Salas Chaves (Auditor Técnico)
- Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Raquel Arriola Guzmán (Auditora Técnica);
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc, (Auditora Técnica);
- Ing. Ana Hidalgo Arroyo (Auditora Técnica);
- Ing. Sandra Solórzano Murillo (Auditora Técnica);
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)
- Ing. Guillermo Santana Barboza, PhD, (Experto Técnico)
- Ing. Ana Monge Sandí, MSc, (Experta Técnica)
- Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD, (Experto Técnico)

Informe LM-PI-AT-55-11 (3/3)	Fecha de emisión: 09 agosto 2011	Página 17 de 77
------------------------------	----------------------------------	-----------------



8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Entre las limitantes que se presentaron en este estudio de auditoría, se encuentra que para realizar una evaluación integral de la condición existente del puente se requerían efectuar mediciones e inspecciones en sitios específicos del puente donde el acceso era difícil, lo cual ameritaba un despliegue considerable de recursos y tiempo, por lo cual dicha mediciones únicamente se limitaron a aquellas zonas donde el acceso era factible.

Además se debe considerar que la información analizada correspondió a los documentos aportados por los auditados así como aquella información que se tuvo a la vista durante la recopilación de la documentación en los diferentes despachos visitados por el equipo auditor. Por otra parte la Administración remitió de manera tardía parte de la información requerida, razón por la que se tuvieron que enviar diversos recordatorios para la adquisición de la misma.

9. GENERALIDADES

El proyecto de la sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla se realizó entre los días 15 de diciembre del 2010 y el 19 de febrero del 2011, en esta última fecha día se hace la apertura total del puente.

Posteriormente en el oficio DMOPT-1384-11 del día 9 de marzo, el Ministro de Obras Públicas y Transportes Francisco J. Jiménez Reyes manifiesta textualmente: *“No obstante, que nuestros técnicos plantearon que esta sería la solución definitiva, a menos de diez días, se han presentado desprendimientos prematuros e incluso pulverización del concreto colado”*. (El subrayado no es del texto original). Debido a lo anterior el LanammeUCR mediante oficio LM-IC-D-283-2011 del 15 de marzo de 2011 indica que se considera oportuno realizar una auditoría técnica en este proyecto. Como parte de los alcances de esta auditoría técnica se establece realizar la cuantificación del área deteriorada durante diferentes fechas mediante auscultaciones visuales y uso de equipo de tecnología de levantamiento fotográfico denominado GEO3D entre los meses de marzo y junio del presente año.

Según información aportada por personal auditado del CONAVI a este equipo, desde el 20 de enero del presente año se puso en operación la primera fase de la superficie de rueda del puente, y el día 27 del mismo mes comienzan a ser evidentes los primeros deterioros según registró el Ing. Álvaro Ulloa Murillo en la bitácora de campo. Las primeras reparaciones se realizaron los días 5 y

6 de marzo, aproximadamente catorce días después de la apertura total del puente al tránsito, por lo que se considera que estos son deterioros prematuros.

Con base en visitas de campo realizadas al puente sobre el río Virilla, auscultaciones visuales y mediciones realizadas por el LanammeUCR mediante el equipo de levantamiento fotográfico ,GEO3D, se ha evidenciado la presencia y evolución de los deterioros en el concreto de la rejilla mixta (rejillas de acero rellenas de concreto) colocada en el puente.

A continuación se hace una breve descripción de la estructura general del puente y los dos sistemas de evaluación aplicadas para cuantificar el área de deterioro y reparación del concreto.

9.1 Descripción general de la estructura del puente sobre el río Virilla

La subestructura del puente se encuentra dividida en tres tramos de 27,4 m y uno de 76,2 m como se ilustra a continuación:

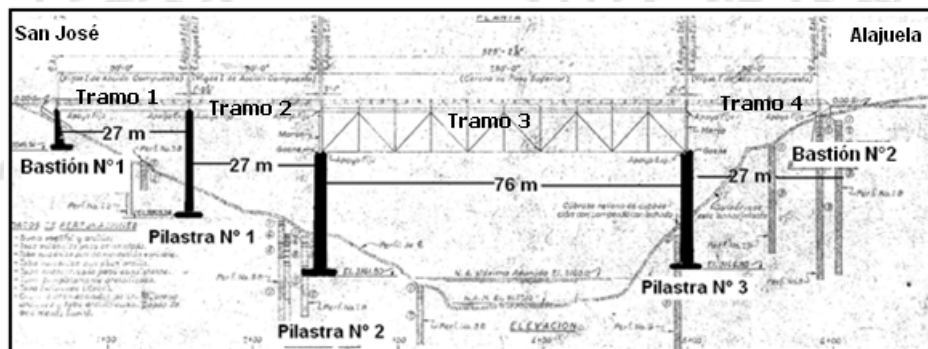


Figura 2. Ubicación de las pilas y de tramos.

Fuente: MOPT

En el acceso hacia San José se ubica el bastión N°1 donde inicia el primer tramo (tramo 1) de 27,4 m hasta la pila N°1. El segundo tramo (tramo 2) se localiza entre las pilas N°1 y N°2 tiene una longitud de 27,4 m también. Posteriormente entre las pilas N°2 y N°3 se encuentra una luz de 76,2 m que corresponde al tercer tramo (tramo 3). Por último el cuarto tramo (tramo 4) se halla entre la pila N°3 y el bastión N°2 en el acceso hacia Alajuela, la dimensión corresponde a 27,4 m de longitud.

La Fotografía 1 referencia espacialmente la ubicación de los elementos del puente en estudio, además de la asignación de tramos para efectos de este informe:



Fotografía 1. Vista aérea del Puente Virilla-RN1 en dirección aguas arriba, hacia el norte.

Fuente: LanammeUCR

9.2 Descripción del sistema de rejilla mixta (Rejilla con concreto).

El nuevo tablero está conformado por paneles de rejillas con concreto los cuales fueron fabricados en 6 categorías de acuerdo a sus dimensiones y al tramo del puente en que serían instalados. Se utiliza una nomenclatura alfabética por tipo de rejilla de la siguiente manera: los paneles A (3.66x2.44m), B (2.44x2.44m) y C (3.66x2.44m) se instalarían en los tramos de 27m (tramos 1,2 y 4) y los paneles D (3.66x2.44 m), E (2.44x2.44m) y F (3.66x2.44m) en el tramo de 76,2m (tramo 3), como se ilustra la distribución de paneles en el puente en la Figura 2 y 3 , y las Fotografías de la 2 a la 9.

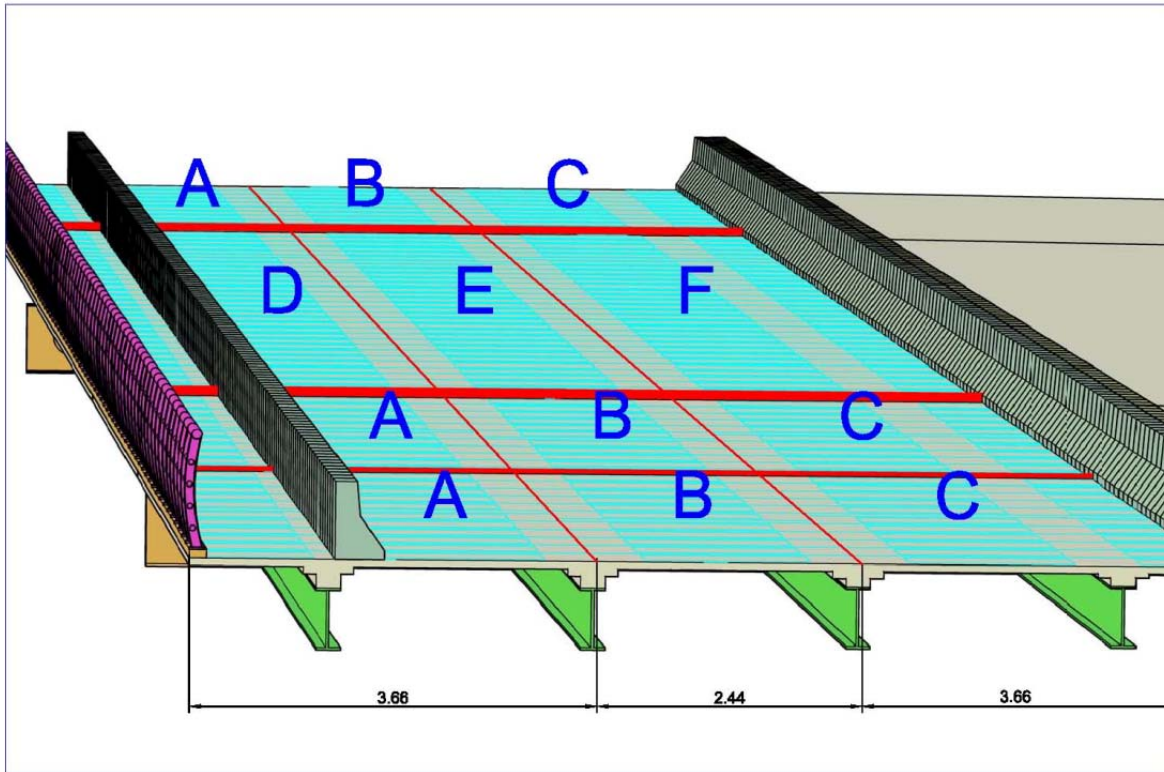


Figura 3. Asignación de tipo de letra a lo largo de una calzada del puente.

Fuente: LanammeUCR

Los siguientes Cuadros 1 y 2 ilustran la ubicación de los 4 tramos por sentido del puente, así como la nomenclatura asignada para cada franja de rejillas y su sentido de circulación.

Cuadro 1. Nomenclatura asignada por tramos, sentido San José-Alajuela

Tramo	Sentido San José-Alajuela	
	Nomenclatura asignada	Foto
1 (27 m)	A, B y C.	
2 (27 m)	A, B y C.	
3 (76 m)	D, E, y F	
4 (27 m)	A, B y C.	

Fuente: LanammeUCR

Cuadro 2. Nomenclatura asignada por tramos, sentido Alajuela-San José

Tramo	Sentido Alajuela - San José	
	Nomenclatura asignada	Foto
1 (27 m)	C, B y A	
2 (27 m)	C, B y A	
3 (76 m)	F, E y D	
4 (27 m)	C, B y A	

Fuente: LanammeUCR

10. EVALUACIÓN DE DETERIOROS OBSERVADOS EN EL SISTEMA DE REJILLA

En el periodo en que se realizaron las auscultaciones visuales se observó que los deterioros encontrados presentan un proceso evolutivo iniciando por un desprendimiento entre el concreto y la rejilla, que empieza por una pulverización del concreto en los bordes de las celdas prolongándose hasta el centro de las mismas, tal como se aprecia en la Fotografía 2.



Fotografía 2. Desprendimiento del concreto en la rejilla mixta
Fuente: LanammeUCR

Después de la pulverización de las orillas del concreto en cada celda de la rejilla se observa un desprendimiento del concreto en pequeños bloques hasta quedar la rejilla expuesta y sin concreto como se observa en la

Fotografía 3.

Informe LM-PI-AT-55-11 (3/3)	Fecha de emisión: 09 agosto 2011	Página 24 de 77
------------------------------	----------------------------------	-----------------



Fotografía 3. Desprendimiento del concreto en el sistema de la rejilla mixta

Fuente: LanammeUCR

Una vez que ocurre la pérdida de concreto, el acero de la rejilla queda expuesto en esta condición y bajo el nivel de cargas de tránsito es vulnerable a deterioros y tienden a fracturarse los elementos de acero tal como se ejemplifica en la Fotografía 4 del día 08 de junio del 2011, sin embargo esta situación se evidenció meses antes según lo presentó el Ing. Álvaro Ulloa en la entrevista realizada el día 22 de marzo a solicitud de la Auditoría Técnica y fotografías tomadas por el Equipo Auditor el día 7 de abril del 2011.



Fotografía 4. Rejilla fracturada debido a la pérdida de concreto

Fuente: LanammeUCR



Fuente: CONAVI



10.1 Evaluación de los deterioros

Para determinar las áreas de deterioros de la calzada del puente sobre el Río Virilla Ruta Nacional N°1 se utilizó un equipo de levantamiento automático de fotografía conocido como GEO3D. Asimismo para cuantificar detalladamente la condición de cada uno de los paneles reparados, como los que se mantenían en su condición original, se realizaron dos auscultaciones visuales en el puente, los días 17 de marzo, 6 de abril, 13 de abril y 4 de mayo del 2011.

A continuación se explica la técnica utilizada con el equipo del GEO3D y la valoración mediante la auscultación visual para cuantificar las áreas de deterioro, además se describe la clasificación utilizada para evaluar el proceso de deterioros, el proceso de reparaciones y la ubicación de los deterioros.

10.1.1 Sobre el equipo GEO3D

El GEO3D, es un equipo utilizado para realizar automáticamente un levantamiento fotográfico de la carretera, por medio de cámaras de alta definición, permite posteriormente, mediante herramientas informáticas inventariar deterioros y el estado de la infraestructura vial. Ver Fotografía 5.



Fotografía 5. Equipo GEO3D
Fuente: LanammeUCR

Este equipo consta de 6 cámaras de video de alta definición que permiten realizar un levantamiento fotográfico por carril de circulación. Tres cámaras permiten enfocar la superficie de ruedo y las otras tres capturan el entorno.

Cada fotografía abarca cuatro metros longitudinales por carril lo que implica que para la longitud del puente se tomaron 164 fotografías para cubrir toda el área de rodamiento para cada sentido. Posteriormente esta información de campo es procesada mediante un programa de cómputo que permite identificar y medir el nivel de deterioro que presenta cada área auscultada.

Finalmente se establece una clasificación de deterioros para evaluar la información recabada del levantamiento fotográfico, en la Tabla 1 se presenta una descripción de los diferentes grados de deterioros observados con el equipo de GEO3D.

Tabla 1. Clasificación del grado de deterioro observado en la rejilla mixta

Grado	Descripción	Condición observada
1	Severidad alta con pérdida de volumen de concreto en las celdas de las rejillas.	 <p data-bbox="761 747 1338 779">Fotografía 6. Grado de deterioro crítico (grado 1)</p>
2	Daño intermedio se considera como el desprendimiento del concreto en los bordes de las celdas de la rejilla, así como pulverización y agrietamiento del concreto.	 <p data-bbox="810 1215 1289 1247">Fotografía 7. Daño intermedio (grado 2)</p>
3	Condición normal se refiere a las áreas donde se observa la rejilla expuesta, sin desprendimiento del concreto ni agrietamiento del mismo.	 <p data-bbox="802 1650 1297 1682">Fotografía 8. Condición normal (grado 3)</p>

Fuente: LanammeUCR



En la sección 4 se presentan los resultados de diversas evaluaciones aplicando la metodología descrita anteriormente.


10.1.2 Sobre la auscultación visual

La auscultación visual tiene como finalidad cuantificar las unidades de rejillas en condición original y las que han sido reparadas; además se contabilizan las rejillas reparadas que nuevamente han presentado un grado de deterioro.

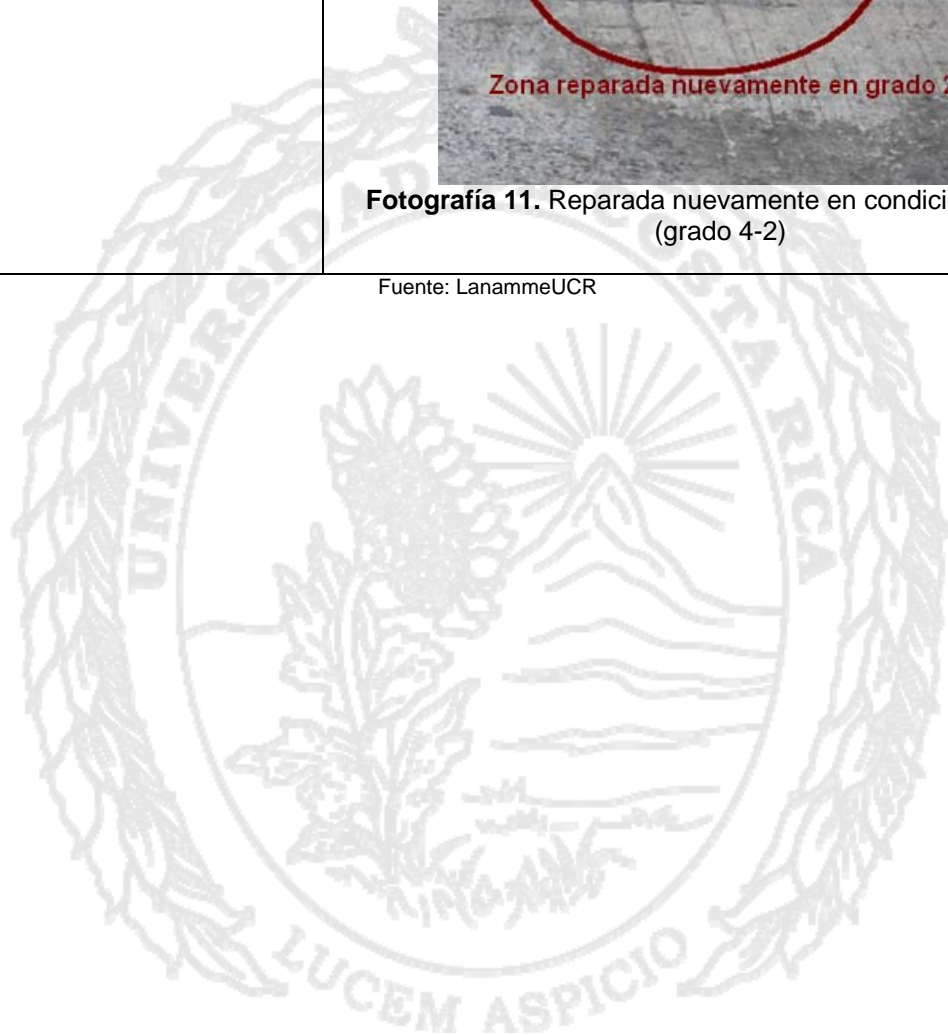
Para la auscultación visual del puente, el Equipo Auditor realizó dos visitas de campo los días 8 de abril y 8 de junio. En este proceso, además de observar los deterioros generales descritos en la Tabla 1, se identificaron las rejillas reparadas y se catalogaron como grado 4. Además fue necesario sub-clasificar este grado en dos subgrados adicionales, ya que, las rejillas reparadas evidencian nuevamente niveles de deterioro similares a los que presentaban las rejillas cuando fueron coladas inicialmente. En la Tabla 2 se presenta la descripción de esta clasificación.

Tabla 2. Clasificación de deterioros para paneles reparados

Grado	Descripción	Condición observada
4	Paneles reparados al día de la auscultación visual: se refiere a los paneles que tuvieron una intervención para reparar los deterioros presentados y en los que la reparación se encontraba en buen estado el día de la vista.	 <p data-bbox="805 1339 1273 1369">Fotografía 9. Rejilla reparada (grado 4)</p>
4-1	Paneles reparados, nuevamente en condición grado 1: son los paneles que a pesar de la reparación realizada, se encuentran deteriorados nuevamente con una condición de deterioro grado 1 (severidad alta).	 <p data-bbox="685 1768 1390 1831">Fotografía 10. Reparada nuevamente en condición grado 1 (grado 4-1)</p>

4-2	Paneles reparados, nuevamente en condición grado 2: son los paneles que a pesar de la reparación realizada, se encuentran deteriorados con un grado 2 (severidad intermedia).	 <p>Fotografía 11. Reparada nuevamente en condición grado 2 (grado 4-2)</p>
-----	---	--

Fuente: LanammeUCR





11. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE DETERIOROS EN LA REJILLA MIXTA

El inventario realizado por el Equipo Auditor permitió evidenciar y cuantificar la presencia de deterioros en el concreto de la rejilla mixta (rejillas de acero rellenas de concreto) colocada en el puente sobre el Río Virilla Ruta Nacional N°1 que se han producido desde su apertura. Los resultados de ambas auscultaciones se presentan con el orden siguiente:

1. Resultados obtenidos por el GEO3D.
 - Evaluación general de deterioros
 - Evaluación detallada de deterioros
2. Resultados de la auscultación visual.

11.1 Resultados obtenidos por el GEO3D

11.1.1 Evaluación general de deterioros

Durante el periodo comprendido entre el 17 de marzo al 4 de mayo del año en curso se realizaron varios levantamientos fotográficos en cada uno de los carriles del puente. El Cuadro 3 resume el área total (m²) de los deterioros cuantificados, es decir, la suma únicamente de los deterioros con severidades grado 1 y grado 2 (ver Tabla 1) encontrados en los paneles de cada calzada.

Se observa que el día 17 de marzo del 2011, 10 días después de una reparación importante realizada en el puente los días 5 y 6 de marzo, el área deteriorada en el sentido Alajuela-San José es de 131,90 m². Si se considera el espacio comprendido entre las barreras tipo "New Jersey", utilizadas como medianeras y la distancia de separación de la acera peatonal, el área disponible para el tránsito de los vehículos es de 1.219,94 m² en cada sentido. Es decir, el área cuantificada de deterioros en el sentido Alajuela-San José corresponde a un 11% del área total de la calzada en ese sentido. En el otro sentido San José-Alajuela el área cuantificada resultó ser de 108,20 m², es decir, un 9% del total de la calzada tal y como se puede observar en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resumen general de área deteriorada total del puente, cuantificado con GEO3D

Resumen de área deteriorada sentido A-SJ, GEO 3D			Resumen de área deteriorada sentido SJ-A, GEO 3D		
Fecha	Área (m ²)	%	Fecha	Área (m ²)	%
17-Mar-11	131,90	11%	17-Mar-11	108,20	9%
6-Abr-11	103,23	8%	6-Abr-11	85,29	7%
13-Abr-11	108,80	9%	13-Abr-11	76,12	6%
4-May-11	7,95	1%	4-May-11	10,38	1%

Fuente: LanammeUCR

El 6 de abril se observa una menor cantidad de área deteriorada, porque se realizaron reparaciones por parte del Contratista Soares Da Costa, condición que se da para ambos sentidos de la calzada del puente sobre el Río Virilla.

El día 13 de abril se cuantificó un aumento en el área de deterioro con relación a la fecha del 6 de abril en el sentido Alajuela- San José. En el sentido San José-Alajuela se observa una pequeña disminución del área deteriorada.

El día 14 de abril se realizó una nueva reparación en la rejilla del puente. Las reparaciones de los deterioros se han realizado constantemente utilizando diferentes tipos de materiales, sin embargo, las rejillas reparadas han presentado nuevamente deterioros.

Bajo este escenario, existe el riesgo de que el puente continúe requiriendo reparaciones cada cierto tiempo, ya que del análisis de la evolución de los deterioros se puede inferir que las reparaciones realizadas no han sido efectivas y han significado inversiones adicionales y constantes para reparar la rejilla recién construida, para la cual se esperaba un periodo de desempeño mayor al que ha manifestado, lo cual se traduce en gastos adicionales tanto para la Administración como para los usuarios de la vía, situación contraria a la indicada en el oficio DVI-373-11 elaborado por la Inga. María Ramírez enviado el 10 de marzo del 2011 por la Viceministra Inga. María Lorena López, al Ing. Guillermo Loria, Coordinador del PITRA, LanammeUCR, donde se menciona que uno de los impactos que tuvo la sustitución de la losa antigua fue: *“Aumento de la vida útil a 75 años...”*.



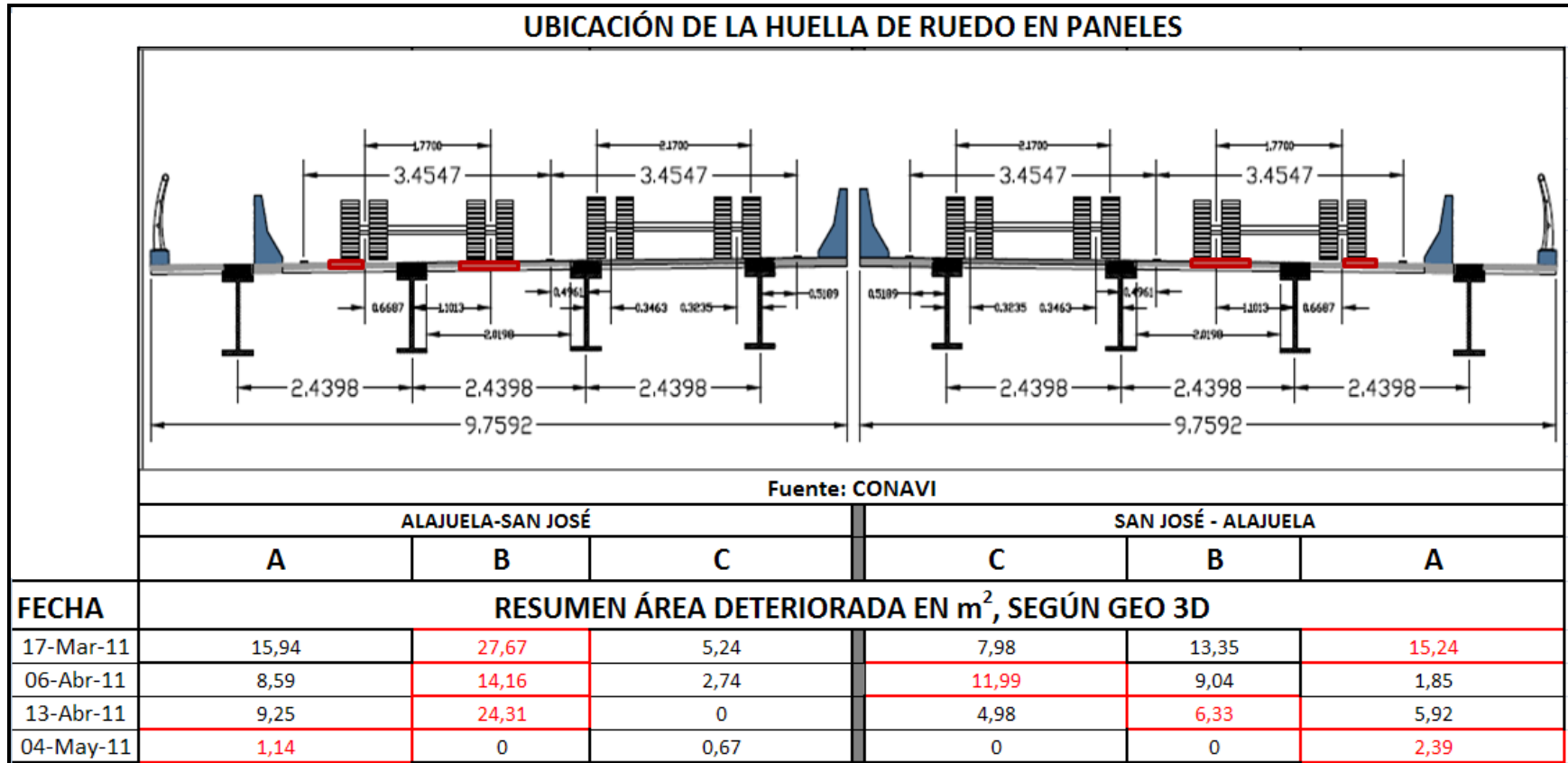
11.1.2 Evaluación detallada de deterioros

En los Cuadro 4 y 5 se observan celdas enmarcadas en color rojo, las cuales indican un área de deterioro importante hasta un valor de 27,67 m², para el caso de las rejillas tipo B en el sentido Alajuela – San José correspondientes a los tramos de 27,4 metros y hasta un valor de 52,83 m² para las rejillas tipo E en el tramo de 76,2 metros en el sentido Alajuela – San José también. Se ha observado que, en general, desde el día 17 de marzo en que se inicia la cuantificación de deterioros realizada por el LanammeUCR hasta el día 04 de mayo, los paneles B de los tramos de 27,4 metros, en el sentido Alajuela – San José, presentan mayor área con deterioros a lo largo de toda la calzada del puente. En el caso del sentido San José – Alajuela, para los tramos de 27,4 metros, no se mantiene el mismo patrón en las diferentes fechas de auscultación, la ubicación de los principales deterioros ha cambiado a diferentes tipos de rejillas, esto se debe a constantes reparaciones y a la aparición de deterioros en nuevos puntos de la calzada.

Para el caso del tramo de 76,2 metros los paneles E, presentan un área con deterioro mayor en relación a los otros paneles. Los paneles D y F presentan deterioros en menor grado y área, respecto a los paneles E, con excepción del día 13 de abril en que los paneles D, en el sentido Alajuela – San José, presentan levemente un deterioro mayor que los paneles E.

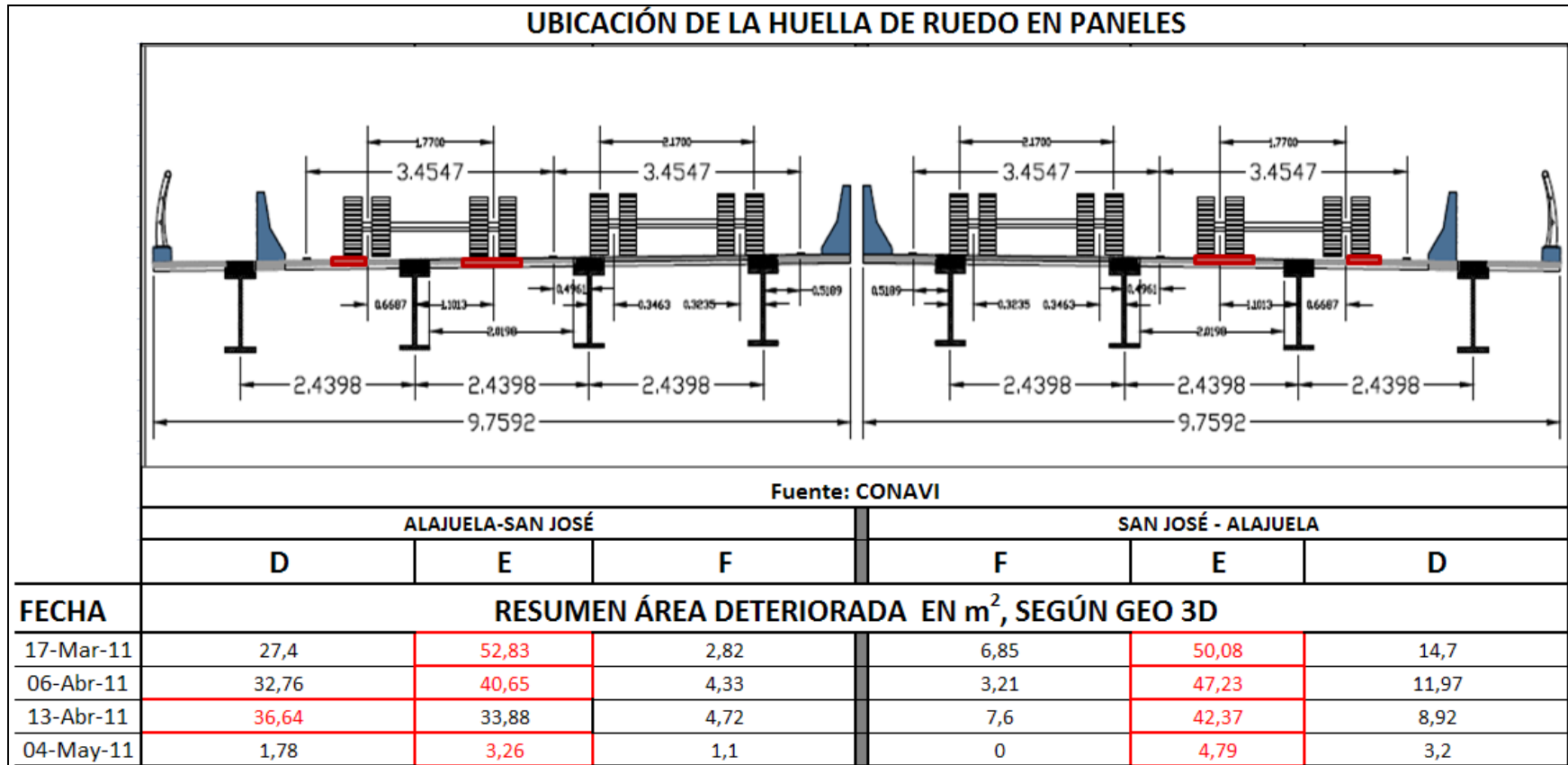
En los siguientes cuadros se resume la sumatoria del área de deterioros grado 1 y grado 2 con el GEO3D para cada tipo de panel:

Cuadro 4. Resumen de área deteriorada en m², para paneles A, B y C, en tramos de 27,4 m, según GEO3D



Fuente: LanammeUCR

Cuadro 5. Resumen de área deteriorada en m², para paneles D, E y F, en tramos de 76,2 m, según GEO3D

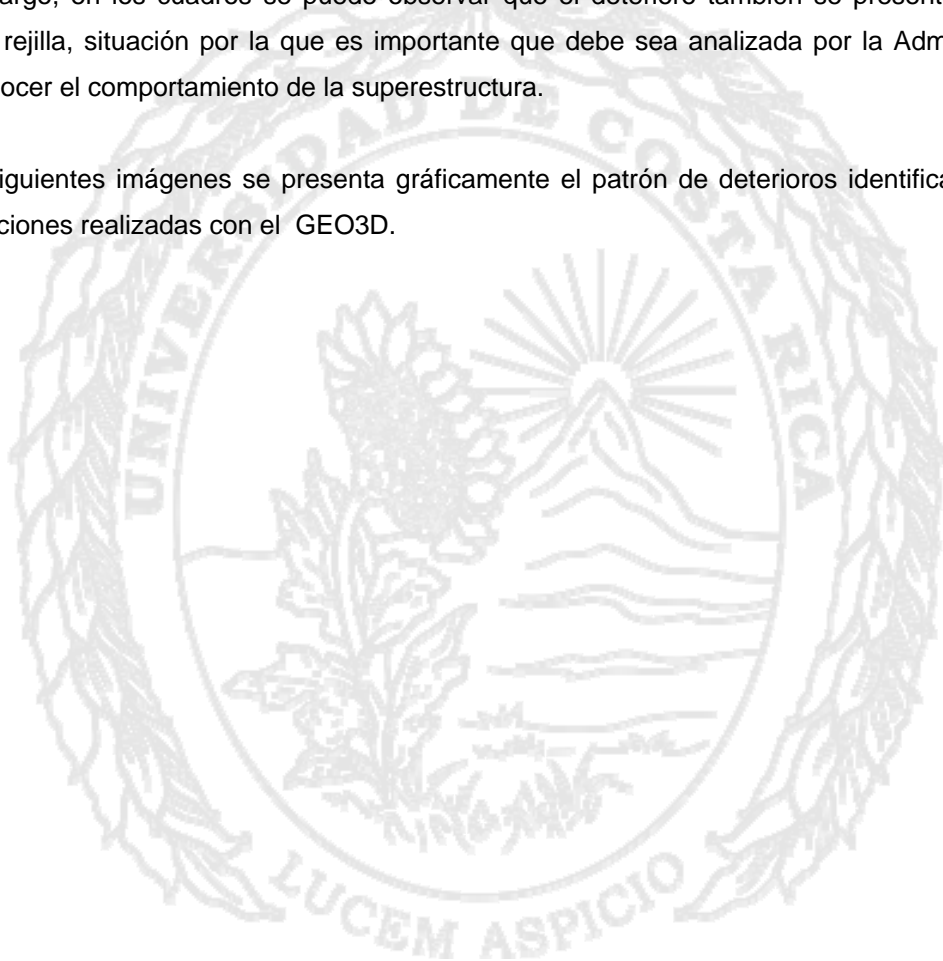


Fuente: LanammeUCR



Con los resultados observados en los Cuadro 4 y 5 se puede concluir que el deterioro que presenta la rejilla del puente se manifiesta mayoritariamente en las rejillas tipo E tal como se afirma en el documento adjunto al oficio DVI-373-11 del 10 de marzo 2011 enviado por Inga. María Lorena López Rosales al Ing. Guillermo Loría Salazar, en donde indica que: “...el número de rejillas afectado es de 40, mayoritariamente las Tipo E ubicadas al centro de la calzada que va sobre la cercha, en el sentido Alajuela-San José...”. (El subrayado no es parte del texto original). Sin embargo, en los cuadros se puede observar que el deterioro también se presenta en otros tipos de rejilla, situación por la que es importante que debe sea analizada por la Administración para conocer el comportamiento de la superestructura.

En las siguientes imágenes se presenta gráficamente el patrón de deterioros identificado en las auscultaciones realizadas con el GEO3D.



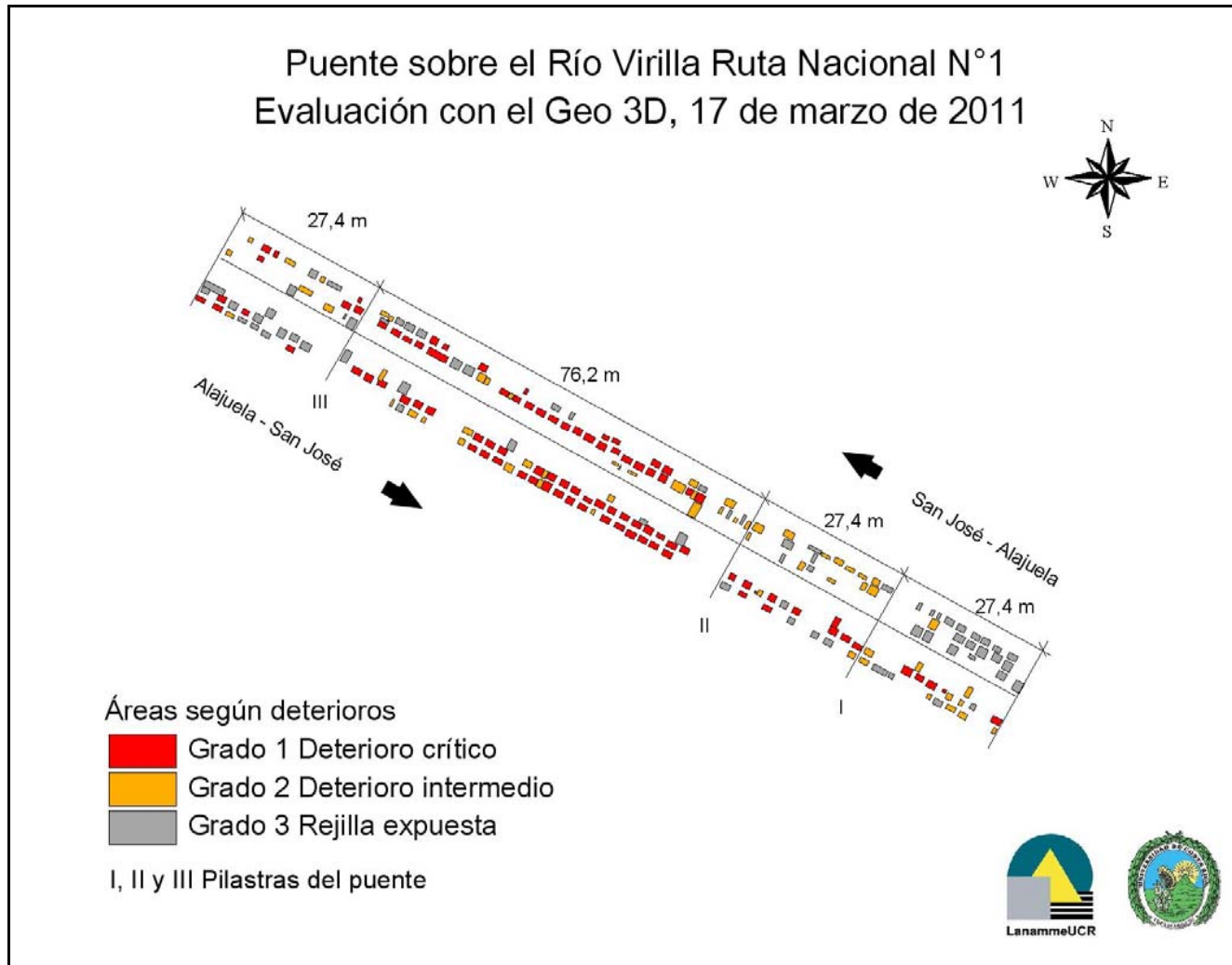


Figura 4. Evaluación con el GEO3D, 17 de marzo de 2011
Fuente: LanammeUCR

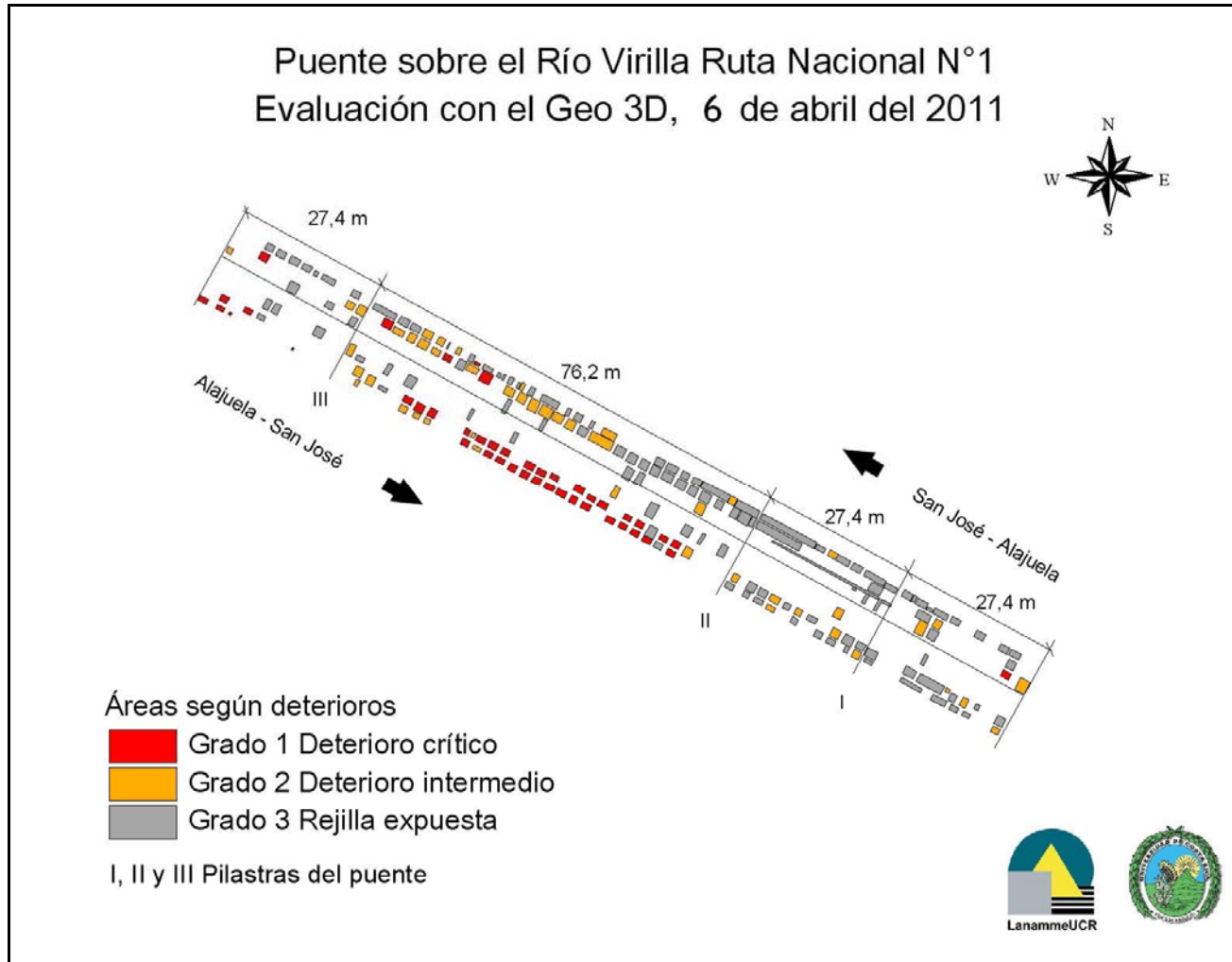


Figura 5. Evaluación con el GEO3D, 6 de abril de 2011
Fuente: LanammeUCR

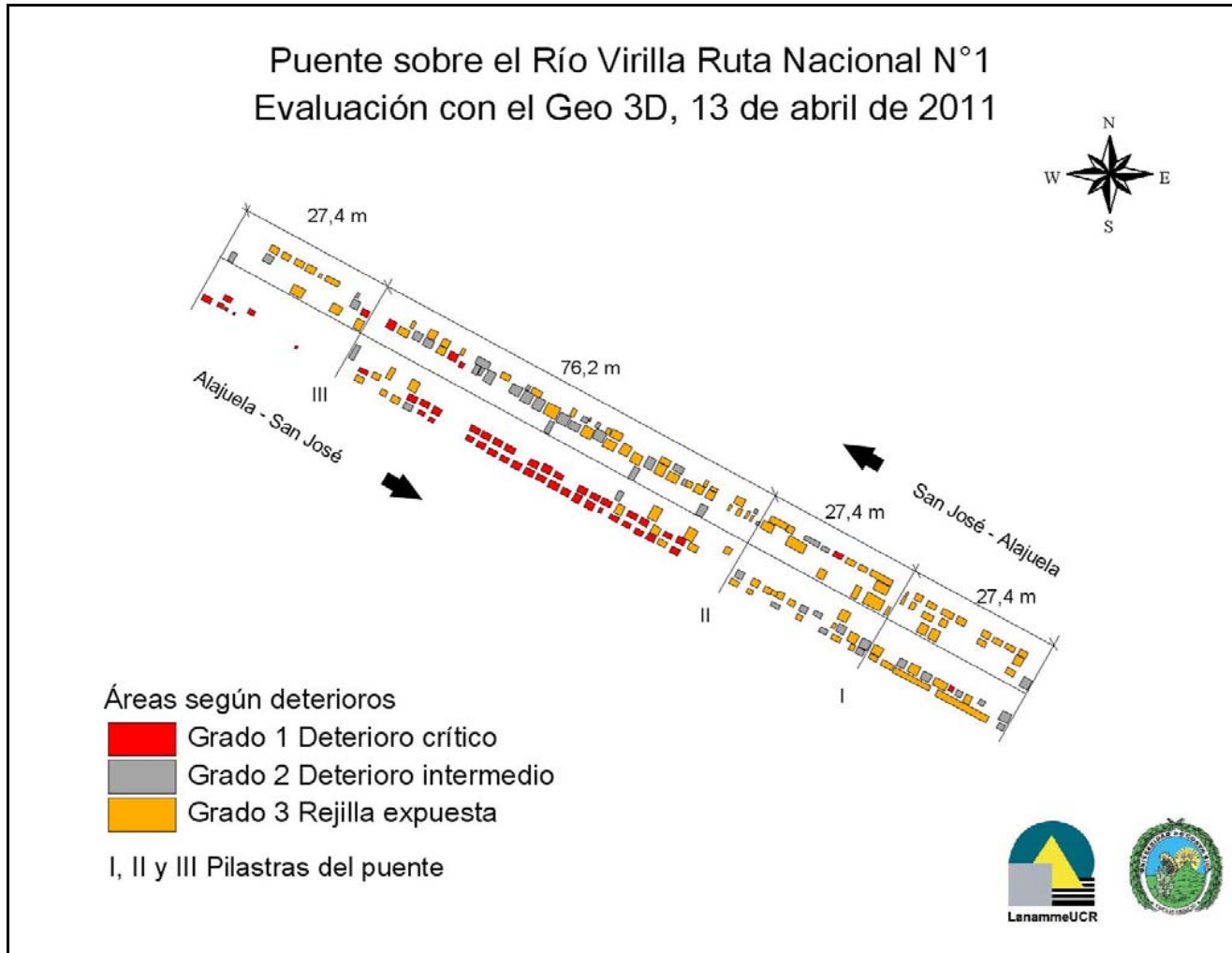


Figura 6. Evaluación con el GEO3D, 13 de abril de 2011
Fuente: LanammeUCR

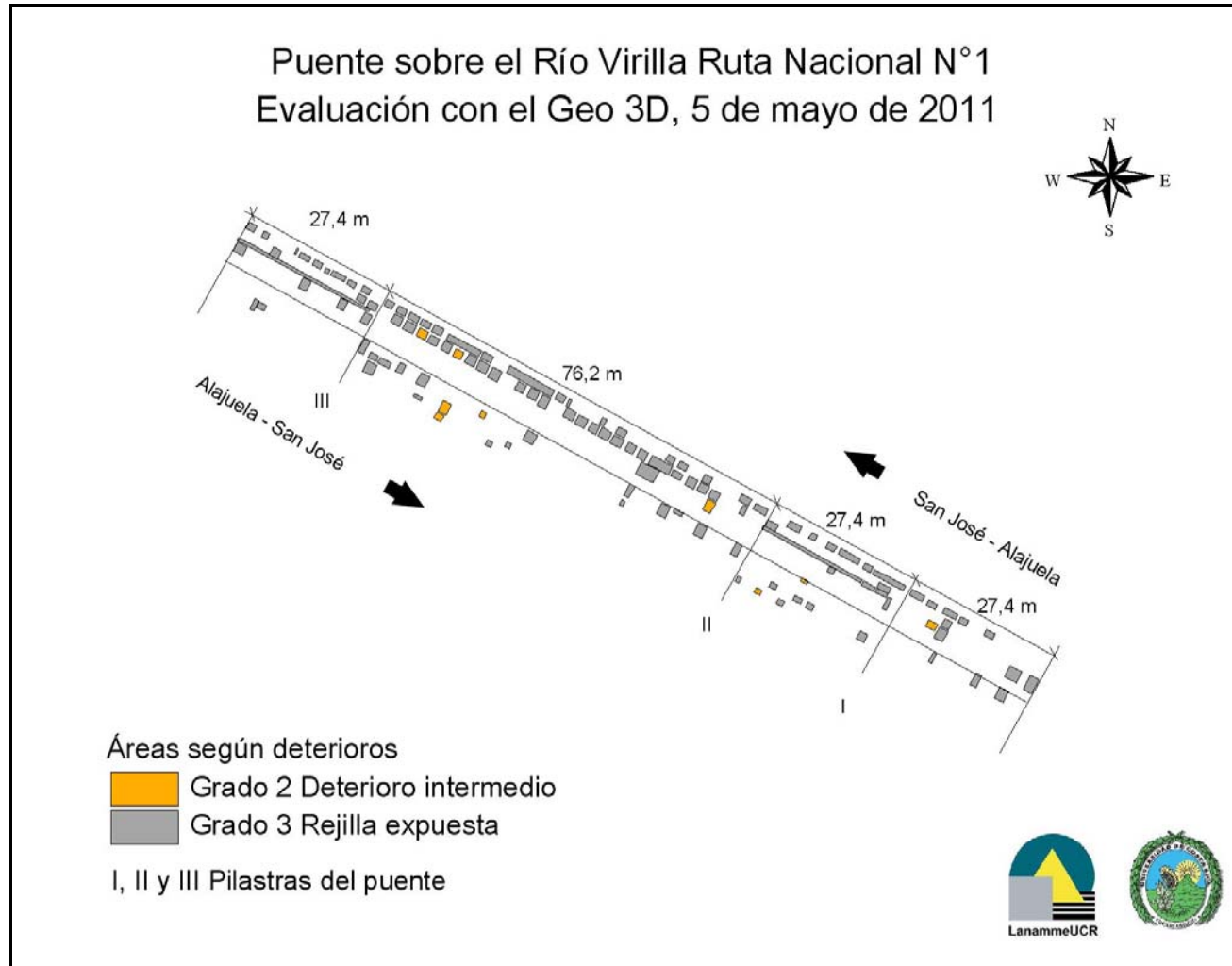


Figura 7. Evaluación con el GEO3D, 5 de mayo de 2011
Fuente: LanammeUCR



11.2 Resultados de la auscultación visual

Los resultados de la auscultación visual se presentan en unidades de rejillas, por lo que para calcular el porcentaje de rejillas reparadas se hace necesario precisar la cantidad de cada tipo de rejillas instaladas.

En el cartel de licitación de la Contratación Directa para la instalación de las rejillas, el sumario presenta las cantidades definidas para la sustitución de la losa del puente sobre el Río Virilla en la Autopista General Cañas, Ruta Nacional N° 1. En el cuadro siguiente se resumen las cantidades por tipo de rejilla incluidas en dicho sumario:

Cuadro 6. Sumario de cantidades de la Contratación Directa de la instalación de la rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional N° 1

Sumario de cantidades Contratación Directa No. 2010CD-000128-0DI00 "Instalación de rejilla metálica para sustituir la losa del puente sobre el Río Virilla en la Autopista General Cañas, Ruta Nacional No. 1"					
Renglón de pago	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (¢)	Precio Total (¢)
611 (1)A	Acero estructural erigido,(Rejillas provisionales Tipo G de 2.62m)	u	68,00		
611 (1)A	Acero estructural erigido (Rejillas Tipos B, E de 2.43mx2.43m)	u	136,00		
611 (1)A	Acero estructural erigido. (Rejillas tipos A,C,D,F de 2.43m x 3.66m)	u	272,00		
612 (1)	Baranda de hormigón para puente (Tipo New jersey lateral)	m	660,00		

Fuente: CONAVI

Se debe considerar que las cantidades que se describen en el cuadro no son exactamente las cantidades de rejillas que se colocaron. En este sentido se debe aclarar que la cantidad de rejillas utilizadas son las que se contabilizaron de los planos aportados por el CONAVI se resumen en el siguiente cuadro:



Cuadro 7. Rejillas instaladas

Cantidad de rejillas instaladas	
Tipo de rejilla	Cantidad instalada
A	66
B	66
C	66
D	64
E	64
F	64
Total rejillas B y E	130
Total de rejillas A, C, D y F	260
Total de rejillas	390

Fuente: LanammeUCR

Como se puede ver, de la totalidad de rejillas tipo B y E adquiridas (136), se utilizaron 130 unidades. Por otra parte, de las rejillas tipo A, C, D y F se utilizaron 260 de las 272 unidades que se adquirieron. Además en el sumario se contempló la compra de 68 unidades de rejillas provisionales tipo G, las cuales, no se utilizaron, debido a un cambio en las fases del proceso de constructivo original. En los siguientes cuadros se presentan los resultados generales de la auscultación visual de los paneles reparados encontrados el día de la visita de campo realizada los días 7 y 8 de abril 2011. La clasificación indicada corresponde a la descripción de la reparación y los deterioros de la Tabla 2.



Cuadro 8. Resumen de auscultación visual realizada entre el 7 y 8 de abril 2011

Cantidades de paneles según auscultación de campo, tramos de 27,4m						
Descripción	Sentido San José - Alajuela			Sentido Alajuela - San José		
	A	B	C	C	B	A
Paneles reparados sin pérdida de concreto	12	5	8	2	16	5
Reparados pero encontrados en condición grado 1	0	0	0	0	2	4
Reparados pero encontrados en condición grado 2	0	0	1	0	1	0
Total de paneles con reparaciones:	12	5	9	2	19	9
Cantidad total de paneles por tipo:	33	33	33	33	33	33
Porcentaje de paneles reparados por tipo:	36%	15%	27%	6%	58%	27%
Total de rejillas reparadas tipo: A,B y C	56					
Cantidades de paneles según auscultación de campo, tramo de 76,2m						
Descripción	Sentido San José - Alajuela			Sentido Alajuela - San José		
	D	E	F	F	E	D
Paneles reparados sin pérdida de concreto	4	9	2	1	8	1
Reparados pero encontrados en condición grado 1	0	2	0	0	17	19
Reparados pero encontrados en condición grado 2	3	13	0	0	0	0
Total de paneles con reparaciones:	7	24	2	1	25	20
Cantidad total de paneles por tipo:	32	32	32	32	32	32
Porcentaje de paneles reparados por tipo:	22%	75%	6%	3%	78%	63%
Total de rejillas reparadas tipo: D,E y F	79					

Fuente: LanammeUCR

En los siguientes gráficos presenta la condición del puente en relación con las reparaciones realizadas y al efecto de las mismas encontradas los días 7 y 8 de abril del presente año:

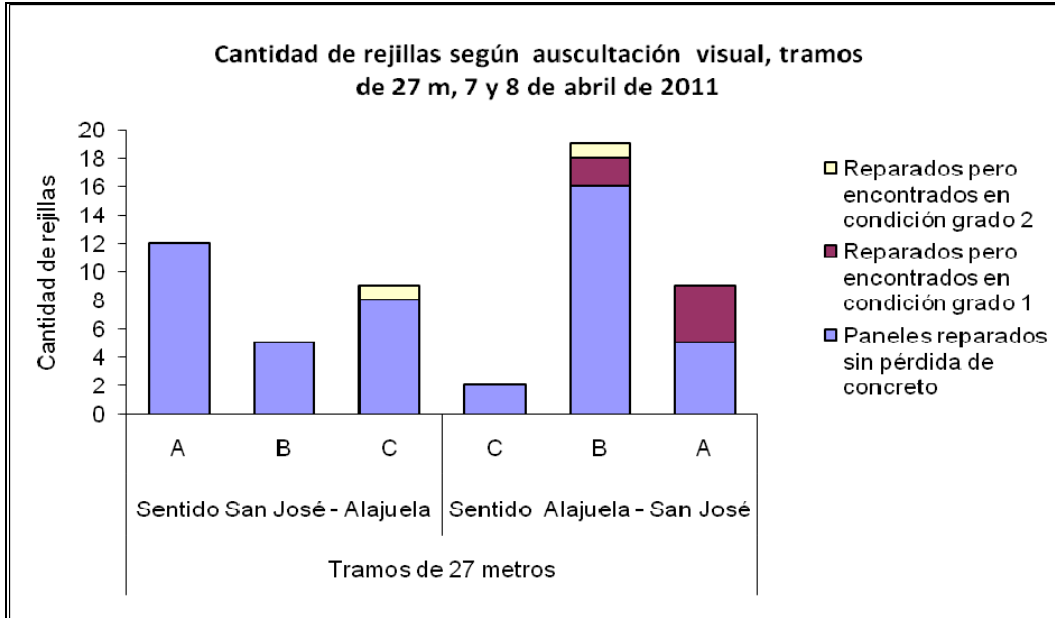


Grafico 1. Cantidad de rejillas según auscultación realizada los días 7 y 8 de abril 2011 tramo de 27,4 m
Fuente: LanammeUCR

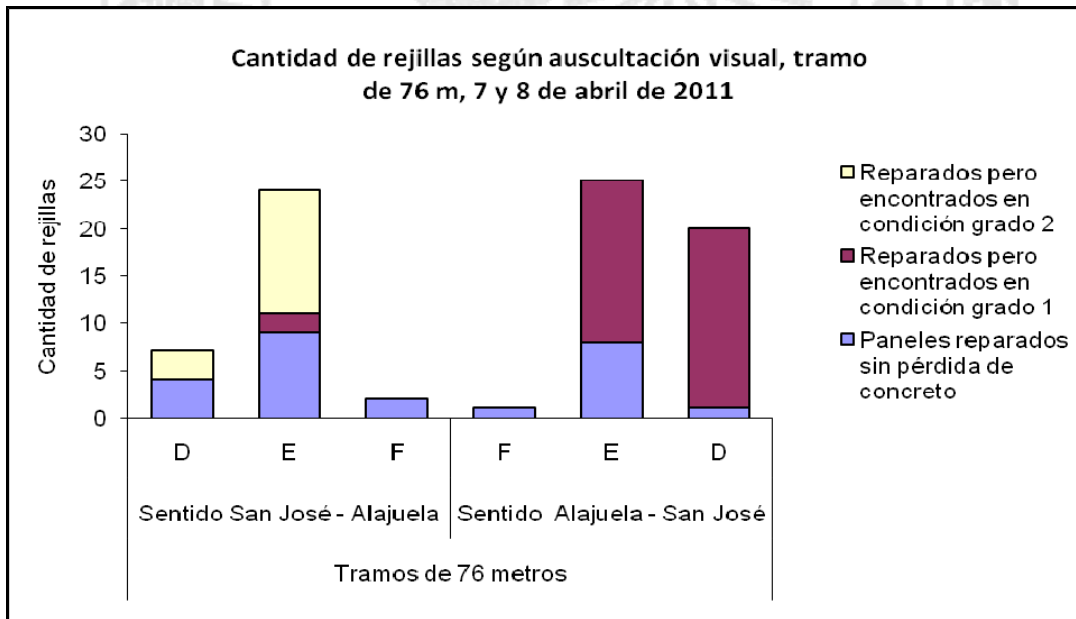


Grafico 2. Cantidad de rejillas según auscultación realizada los días 7 y 8 de abril 2011, tramo de 76,2m
Fuente: LanammeUCR



Resultados generales de la auscultación visual a partir de la visita de campo realizada los días 8 de junio 2011.

Cuadro 9. Resumen de auscultación visual realizada entre el 8 de junio 2011

Cantidades de paneles según auscultación de campo, tramos de 27,4m						
Descripción	Sentido San José - Alajuela			Sentido Alajuela - San José		
	A	B	C	C	B	A
Paneles reparados sin pérdida de concreto	23	15	20	29	29	27
Reparados pero encontrados en condición grado 1	0	0	1	0	0	0
Reparados pero encontrados en condición grado 2	0	1	0	0	0	0
Total de paneles con reparaciones:	23	16	21	29	29	27
Cantidad total de paneles por tipo:	33	33	33	33	33	33
Porcentaje de paneles reparados por tipo:	70%	48%	64%	88%	88%	82%
Total de rejillas reparadas tipo: A,B y C	145					
Cantidades de paneles según auscultación de campo, tramo de 76,2m						
Descripción	Sentido San José - Alajuela			Sentido Alajuela - San José		
	D	E	F	F	E	D
Paneles reparados sin pérdida de concreto	1	5	11	30	26	27
Reparados pero encontrados en condición grado 1	1	12	6	0	1	0
Reparados pero encontrados en condición grado 2	0	14	6	0	1	1
Total de paneles con reparaciones:	2	31	23	30	28	28
Cantidad total de paneles por tipo:	32	32	32	32	32	32
Porcentaje de paneles reparados por tipo:	6%	97%	72%	94%	88%	88%
Total de rejillas reparadas tipo: D,E y F	142					

Fuente: LanammeUCR

Los siguientes gráficos representan la cantidad de rejillas reparadas y la condición encontrada el día 8 de junio del 2011.

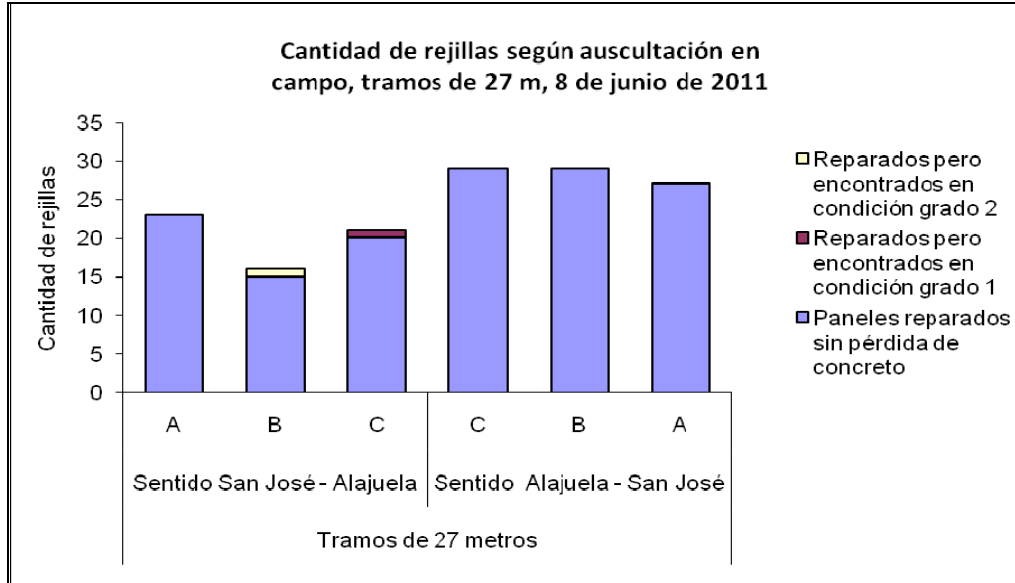


Grafico 3. Cantidad de rejillas según auscultación realizada el día 8 de junio 2011, tramo de 27,4 m
Fuente: LanammeUCR

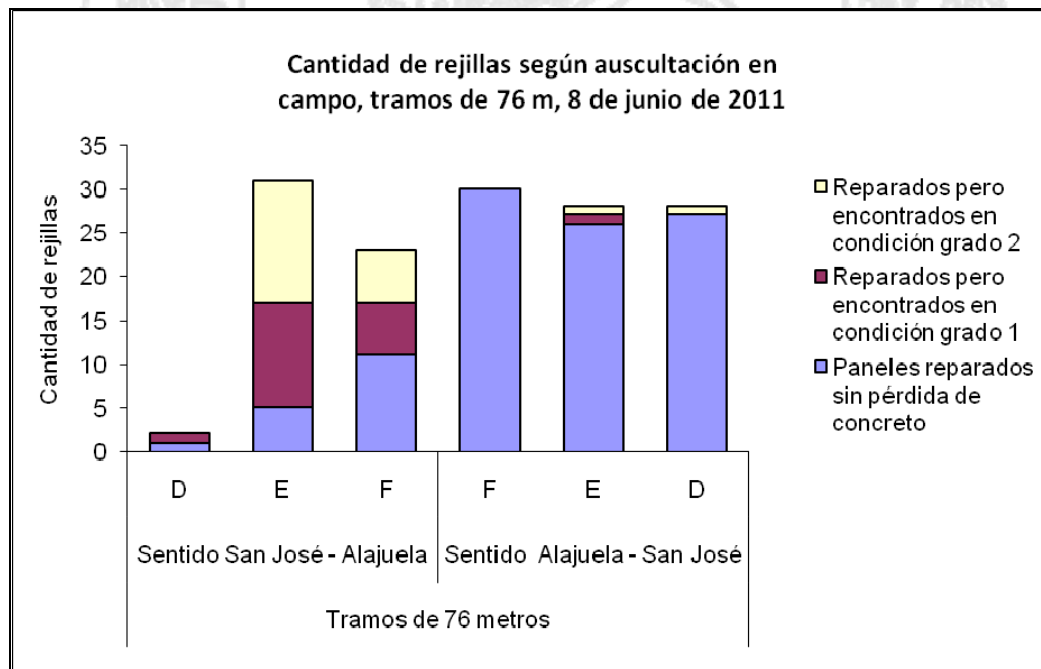


Grafico 4. Cantidad de rejillas según auscultación realizada el día 8 de junio 2011, tramo de 76,2 m
Fuente: LanammeUCR



Realizando una comparación del inventario obtenido los días 7 y 8 de abril con el obtenido el 8 de junio del 2011, se puede concluir que para los tramos de 27,4 m, los paneles tipo A, B y C, no presentan un incremento en el deterioro en el que se pueda percibir pérdida de concreto de las rejillas. Sin embargo, a pesar de que casi no se observan severidades grado 1 ó 2, el número de paneles que se encuentran reparados aumentó durante estos dos meses, de 56 a 145 paneles de rejillas reparados de un total de 198 rejillas.

Para el caso del tramo de 76,2m, se presenta un incremento de paneles reparados de 79 unidades a 142 de un total de 192 rejillas. Sin embargo, para este caso se puede observar un incremento en las rejillas reparadas y que presentan grados de severidad 1 y 2. Por ejemplo en el sentido San José – Alajuela se puede observar un incremento considerable de 2 a 19 paneles que presentan severidad grado 1, incluso con fracturas importantes en el acero de la rejilla. Estos deterioros se incrementaron principalmente en la rejilla tipo E.

Es importante notar que en el sentido Alajuela – San José en el mismo tramo de 76,2 m, a pesar de que también aumentaron los paneles reparados que no presentan pérdida de concreto, de 10 a 83, las rejillas con algún tipo de severidad, disminuyeron considerablemente.

Como se puede ver, en periodos cortos de tiempo (aproximadamente 4 meses), el incremento de los paneles reparados una o más veces se incrementa considerablemente, situación que evidencia que el sistema de rejillas utilizado o posee características muy diferentes a lo que se podría esperar de una losa de buena calidad y que se desempeñe aceptablemente, brindando principalmente seguridad y comodidad al usuario.

Hallazgo 1: Las reparaciones realizadas a la rejilla deteriorada del puente sobre el río Virilla Ruta Nacional N° 1 no han sido efectivas.

Las reparaciones realizadas en la rejilla mixta, debidas a los deterioros presentados de forma constante desde marzo hasta junio del año en curso, no han brindado una solución a la causa origen del problema. Se han utilizado diferentes tipos de materiales como los que se mencionan en la respuesta de Soares Da Costa en el Oficio GCTI-11-0182 con fecha jueves 10 de marzo, en que indica la restitución del concreto con diferentes productos tipo mortero con resistencia a la compresión cercanas a los 740 Kg/cm². Sin embargo, el concreto de las rejillas reparadas ha



presentado nuevamente deterioros, por lo que existe el riesgo bajo este escenario, que el puente continúe demandando reparaciones sucesivas.

Lo anterior refleja que las reparaciones realizadas no han funcionado correctamente y han significado inversiones adicionales que se reflejan no solo en el costo del producto y de la mano de obra, sino en los costos asociados a la congestión vial provocada en algunas ocasiones por el cierre parcial o total del puente.

De acuerdo con el análisis realizado de los deterioros encontrados a lo largo del tiempo, podemos decir que la rejilla mixta de profundidad parcial colocada, ha sido reparada en un 74% a 4 meses de su apertura y que continúa presentando deterioros constantes con el paso de los vehículos, incluso sobre reparaciones ya realizadas.

12. DESEMPEÑO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE REJILLA MIXTA DE PROFUNDIDAD PARCIAL

A causa de los deterioros tempranos, presentados en la rejilla mixta parcialmente rellena de concreto, analizados en el apartado 11, Ing. Guillermo Santana, PhD realizó un estudio técnico llamado "*Informe Sobre el Comportamiento de la Nueva Superficie de Ruedo del Puente Sobre el Río Virilla Ruta Nacional 1*", cuyo fin es realizar un análisis técnico de los efectos de la sustitución del Tablero de Losa Maciza existente en el puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional No.1 por un Tablero de Rejilla Mixta de Profundidad Parcial.

Además, la Unidad de Puentes del LanammeUCR, elaboró un informe técnico llamado "*Evaluación de Documentación Técnica Relacionada con el Proyecto de Sustitución de la Losa Original del Puente sobre el Río Virilla – Ruta 1*", cuyo objetivo es verificar si se realizó una evaluación global del puente, además de verificar el alcance del diseño y la realización de los estudios preliminares adecuados.

Estos informes serán utilizados por esta auditoría técnica para buscar posibles causas a los deterioros que se presentaron en la rejilla mixta colocada en sustitución de la losa de concreto reforzado original, y se adjuntan como anexos a este informe de auditoría.



Hallazgo 2: Existen características del sistema de rejilla mixta a profundidad parcial colocado en el puente sobre el Río Virilla que podrían haber provocado el deterioro prematuro de la rejilla colocada.

Es evidente la aparición de deterioros prematuros importantes en el tablero construido en el puente sobre el Río Virilla sobre la Ruta Nacional No.1, el cual sustituyó la losa maciza original con que contaba durante muchos años.

En términos generales tal y como se describió en el apartado 11, se pudo observar que los deterioros se presentaron en las zonas centrales de algunos paneles, principalmente en los tipos A, B, D y E, primeramente mostrando desprendimiento donde se junta el concreto con las paredes de la rejilla, posteriormente mostrando fractura de los filos del concreto para algunas celdas, y finalmente la desintegración paulatina del concreto en esas zonas hasta llegar a la pérdida total del relleno, quedando únicamente como superficie de rodamiento, los elementos metálicos que conforman la rejilla, soportando las cargas constantes de los vehículos. En algunos casos estos elementos expuestos se fracturaron y separaron, lo cual evidenció que no solo se requirió la reposición del concreto o el sello de algunas grietas, sino también la reparación o reposición de estos elementos metálicos.

De acuerdo con esto, uno de los primeros puntos analizados consistió en verificar la calidad del concreto, ya que fue lo que a simple vista parecía ser el origen del problema y que aun hoy en día continúa deteriorándose, aún luego de que se utilizaron diversos productos y procedimientos que fuesen capaces de desarrollar resistencias de 600kg/cm^2 y soportar el patrón de deterioro descrito anteriormente para que el puente se mantuviera en una condición superficial transitable. Como se indicó anteriormente, los primeros indicios de deterioros se presentaron como desintegración paulatina del concreto que conforma la rejilla mixta de profundidad parcial, hasta la pérdida total del mismo. Tal y como se ha mencionado, en planta se rellenó con concreto la rejilla de acero a media altura, con un espesor de 6,35cm, justamente en las zonas de los paneles donde no hay apoyos o juntas, y que se ubican aproximadamente en zonas intermedias entre apoyos o en las zonas laterales de la rejilla en ambos sentidos. Estas zonas rellenas a media altura son justamente donde se presentan los deterioros más tempranos y críticos para algunos paneles. Las zonas perimetrales de estos tableros colados en planta, se rellenaron con concreto colado en sitio, con espesores totales de 13cm, específicamente donde existen los apoyos a las vigas o largueros de piso y en donde existen juntas transversales (unión de paneles en el sentido del tránsito) o longitudinales (unión de paneles lateralmente). Para el caso de los apoyos donde se asentó la rejilla, se debe considerar un espesor adicional aproximadamente de 3,50cm que se utilizó como ajuste de lo que falta en la altura de la rejilla para equiparar con el espesor de la losa de concreto reforzado anterior de 16,50cm. Se debe

Informe LM-PI-AT-55-11 (3/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 49 de 77
------------------------------	--	-----------------

mencionar que en estas zonas perimetrales donde existen apoyos o juntas, no se encuentran deterioros considerables. En ambos casos se debía cumplir con una resistencia de 280 kg/cm^2 (27.5 MPa), sin embargo, debido a los tiempos de construcción se realizaron dos diseños de mezcla para alcanzar la resistencia de 280 kg/cm^2 en 7 días para el concreto colado en planta de los centros de los paneles, mientras que para la periferia de los paneles el diseño de mezcla era tal que en 24 horas se alcanzara la resistencia solicitada. Ante estos requerimientos, se utilizó un diseño de mezcla que permitiera alcanzar la resistencia en el plazo requerido, lo que incidió en que el concreto en planta desarrollara una resistencia final a los 28 días alrededor de 450 kg/cm^2 , mientras que el concreto colado en el sitio logró resistencias propias de un concreto de alta resistencia (sobre 700 kg/cm^2) a los 28 días.

Además es menester considerar que los productos cementicios aplicados durante el proceso de reparación de los deterioros en el tablero, informan alcanzar resistencias de 600 kg/cm^2 en pocas horas de colocación.



Fotografía 12. Zonas centrales de la rejilla coladas en planta.
Fuente: Conavi



Fotografía 13. Zonas perimetrales de la rejilla coladas en sitio.
Fuente: Conavi

Es importante aclarar que la rejilla no está diseñada por sí sola para resistir las cargas de tránsito normal de esta vía principal, circunstancia que fue advertida por el fabricante, debido a que precisamente el tipo utilizado debe trabajar en forma compuesta con el concreto. La rejilla cuenta con puntos de soldadura cuya función es mantener en posición los diferentes elementos de acero que conforman la rejilla metálica hasta que se proporcione el concreto necesario para confinar el sistema, tal y como se menciona en la sección 4.2 del informe técnico realizado por el Ingeniero Santana (ver anexo 1). Conociendo esto y como se mencionó en el apartado referente al análisis de deterioros, se ha alcanzado una condición en que parte de las rejillas han perdido totalmente el concreto con el paso del tránsito normal de la vía, específicamente en las zonas centrales entre apoyos de algunos paneles, donde se contaba con espesores de 6,35cm de relleno, han sufrido pérdida y fracturas de elementos de acero, generando huecos peligrosos en la superficie. Es por eso que la importancia de la presencia del concreto como relleno de las rejillas, se debe a que busca brindar la rigidez necesaria para que actúen como un sistema compuesto y proporcione la integridad estructural necesaria. Sin embargo, en este caso específico, al deteriorarse prematuramente el concreto y consecutivamente los elementos metálicos, evidencia un comportamiento adverso del puente, generando la necesidad de reparaciones constantes, imprevistas totalmente para la Administración y que no aseguran la inversión realizada ni la seguridad de los usuarios. Evidencia de esto es que actualmente se sigue presentando la aparición constante de deterioros en los paneles, aún en los reparados con los diversos materiales cementicios utilizados en las múltiples reparaciones realizadas.



12.1 Calidad del concreto utilizado

De acuerdo con el análisis llevado a cabo a las pruebas de calidad efectuadas a los dos tipos de concreto utilizados, se pudo determinar que al momento de la puesta en servicio, la totalidad del concreto cumplió los requisitos de resistencia solicitados contractualmente para los tipos de concreto utilizados para diferentes zonas de la rejilla, tal y como se concluye en la parte segunda de este informe, llamada “**VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA**” (LM-AT-55B 2/3). En el caso del concreto colado en planta en las zonas centrales de los paneles, se pudo determinar que a la puesta en servicio al menos transcurrieron 12 días a partir del colado, lo que contribuyó a alcanzar resistencias que sobrepasaron el requerimiento contractual de 280kg/cm^2 , incluso hasta 350kg/cm^2 . En el caso del concreto de las zonas perimetrales donde se requirió una resistencia de 280kg/cm^2 a 24 horas, se pudo determinar que a la puesta en servicio de este concreto, en la mayoría de los casos, transcurrieron de 2 a 4 días a partir del colado (algunos más de 10 días), lo que permitió que con las características de este concreto, alcanzara resistencias de hasta 500kg/cm^2 . Se debe mencionar que en el caso de algunos paneles tipo C, en el tramo 2, en el sentido San José – Alajuela, transcurrió un día para su puesta en servicio, sin embargo, se obtuvieron resultados de calidad del concreto que cumplen las resistencias requeridas.

12.2 Sistema de rejilla mixta de profundidad parcial

Respecto al sistema de rejilla compuesta construida, el tablero fue construido con paneles de 2,44m de longitud con anchos de 2,44m y 3,66m dependiendo de la posición y el tipo de rejilla. Éstas están conformadas con viguetas cada 20cm colocadas transversalmente al sentido del tránsito. Entre estas viguetas se ubican dos barras suplementarias en el mismo sentido espaciadas aproximadamente cada 7cm. En el sentido perpendicular a estas (sentido del tránsito) se colocan barras adicionales espaciadas aproximadamente cada 10cm. Todo este acero que conforma la rejilla se fija por medio de algunos puntos y cordones cortos de soldadura para mantener fija la cuadrícula, formando así celdas de 10cm x 7cm, las cuales se rellenarían de concreto a 6,35cm y 13 cm de espesor, dependiendo de la zona del panel, como se explicó anteriormente. En la Figura 8 se detalla la configuración de la rejilla tipo B, con el objetivo de mostrar gráficamente la posición de los elementos que la conforman. Esta configuración se repite para todos los tipos de rejilla, donde lo que cambia es la dimensión perimetral. Se puede ver que no cuenta con varilla de acero de refuerzo entre las barras suplementarias, como lo poseen otros sistemas similares de rejilla mixta como la exodérmica. Además, se puede apreciar las viguetas cada 20cm en sentido transversal al tránsito y las barras o placas longitudinales (alineadas en el sentido del tránsito) espaciadas aproximadamente cada 10cm. Se debe mencionar que entre las viguetas existen dos barras suplementarias que no se aprecian en esta figura, que se detallan en la Figura 9.

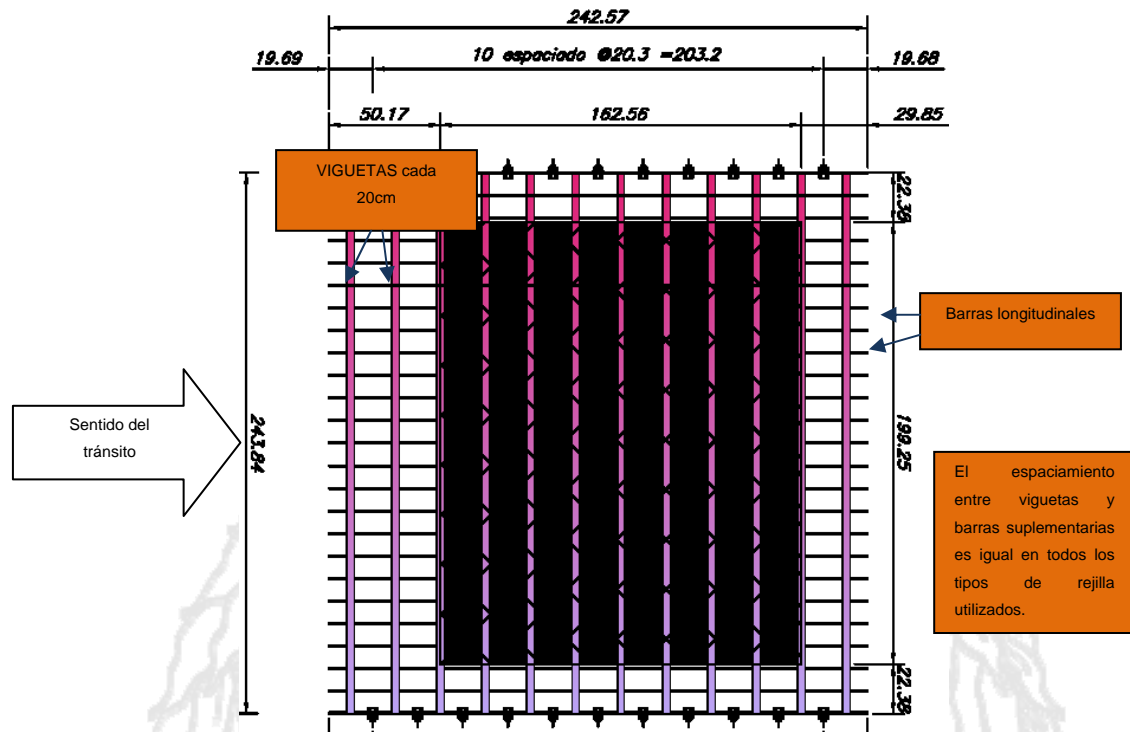


Figura 8. Detalle de conformación de rejilla tipo B.
Fuente: Conavi

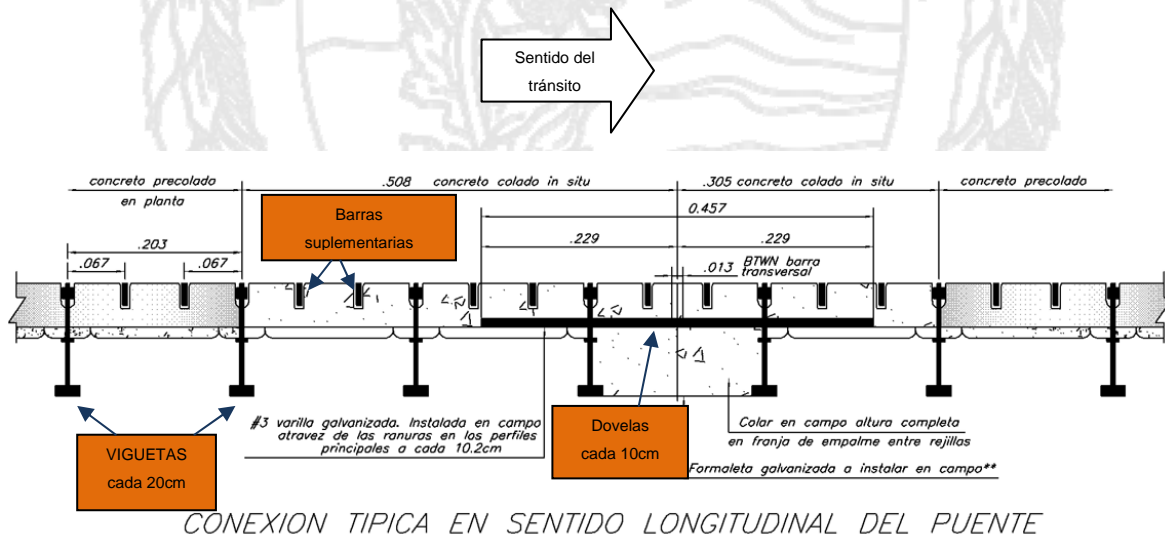


Figura 9. Detalle de conformación de rejilla. Vista lateral.
Fuente: Conavi

En las juntas transversales (o sea, en sentido transversal al tránsito), los paneles van unidos con dovelas de varilla No.3 corrugadas, de 46cm de longitud, espaciadas aproximadamente cada 10cm y concreto colado a 13cm de espesor, tal y como se aprecia en la Figura 9.

La rejilla mixta se apoya sobre las vigas longitudinales principales del puente, específicamente cuatro vigas por sentido para los tramos de 27m. En el caso del tramo de 76m, se apoya sobre los largueros de piso cada 2,43m, que son conectados en vigas perpendiculares que descansan sobre la armadura de la cercha. La rejilla va fijada a las vigas principales y los largueros por medio de conectores de cortante ("studs") aproximadamente cada 32,8cm, según planos constructivos. Estos conectores de cortante se encargan de proporcionar una acción compuesta entre losa y viga, permitiendo la transmisión del cortante horizontal entre la viga de acero y el sistema compuesto de rejilla.

Lateralmente, estos paneles van fijados uno al otro por medio de un perno con arandela y tuerca de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, colocados a media altura (a 6,40cm de la base de la rejilla), aproximadamente cada 20cm a lo largo de la junta longitudinal.

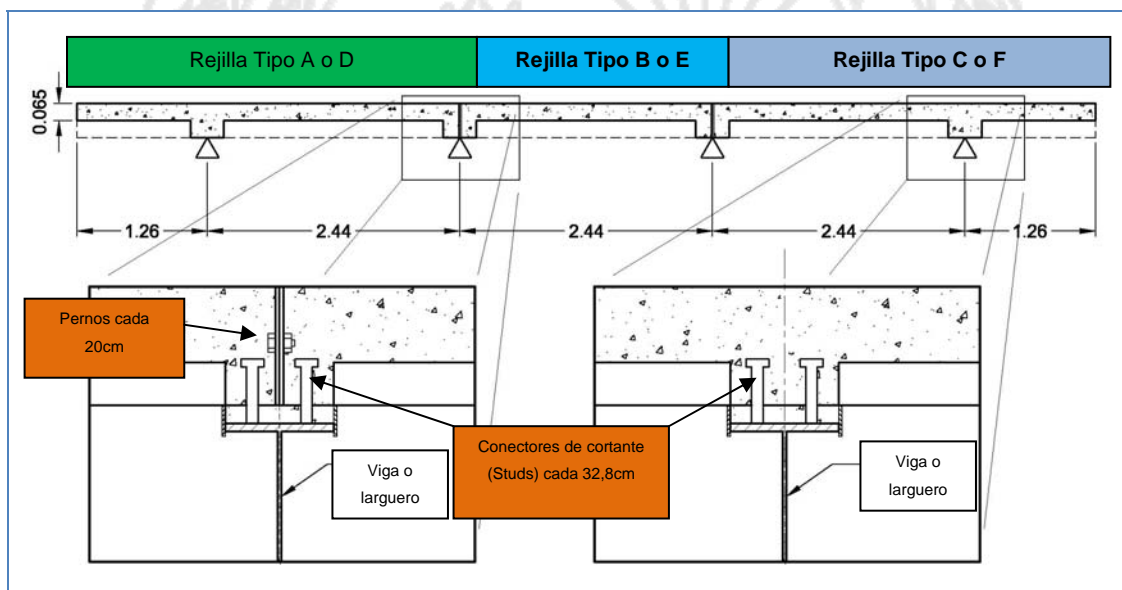
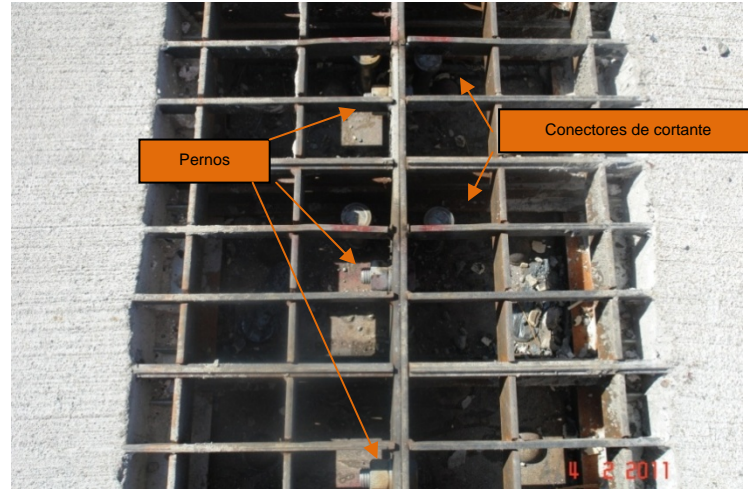
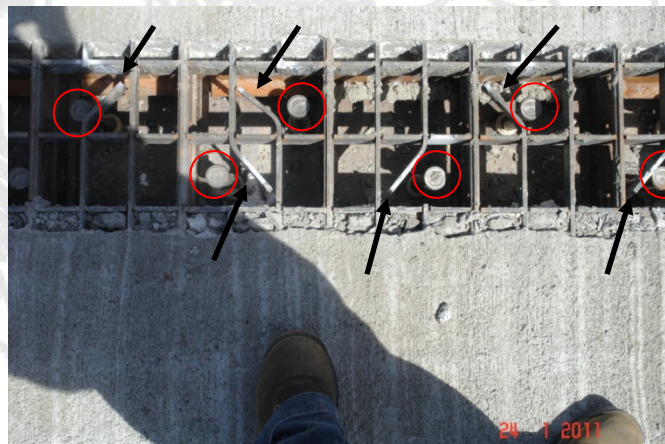


Figura 10. Detalle de posiciones de conectores de cortante y pernos.
Fuente: LanammeUCR



Fotografía 14. Conectores de cortante y pernos colocados.
Fuente: Conavi

Se debe tomar en cuenta que tal y como lo menciona el Ing. Santana en su informe técnico (Anexo 1), en la sección 4.2, existe evidencia que en algunos puntos donde se colocaron conectores de cortante, se contaron y doblaron elementos de acero de la rejilla. Posteriormente estos elementos fueron colocados en su posición original y fijados mediante soldadura.



Fotografía 15. Acero doblado para la colocación de conectores de cortante.
Fuente: Unidad de Puentes, LanammeUCR

12.3 Cambio de dimensiones de los paneles que conforman la rejilla mixta

El diseño inicial consideraba colocar rejillas de 1,52m de longitud en lugar de los 2,44m, con los mismos anchos mencionados de 2,44m y 3,66m dependiendo del tipo. Al colocar rejillas de mayor longitud, se puede afirmar que a lo largo de todo el puente existirán menos juntas transversales. En consecuencia, conociendo que en las juntas transversales se colocan dovelas de varilla No.3 corrugada, con relleno de concreto a profundidad total, podemos decir que entre mayor es la longitud de las rejillas, menor la cantidad de acero de varilla No.3 y de concreto a profundidad total, utilizados a lo largo del puente, respecto al diseño inicialmente considerado. Por otra parte, las rejillas de 1,52m de longitud, contaban con viguetas espaciadas cada 15cm en lugar de 20cm de espaciamiento tal como las utilizadas, lo cual implicaba una presencia mayor de acero principal en la rejilla. Además contaba con una barra suplementaria entre viguetas. De acuerdo con la documentación aportada a esta auditoría para la etapa de compra de la rejilla queda claro que el acero por área de cobertura es menor en el caso de la rejilla que se colocó, que el de la rejilla que originalmente se iba a adquirir y colocar. En consecuencia, el cambio de las dimensiones de la rejilla podría incidir en una disminución de la rigidez a flexión a lo largo de las secciones transversales del tablero, situación que podría provocar que se presenten deflexiones mayores para las condiciones de los nuevos paneles de la rejilla, respecto a los originales.

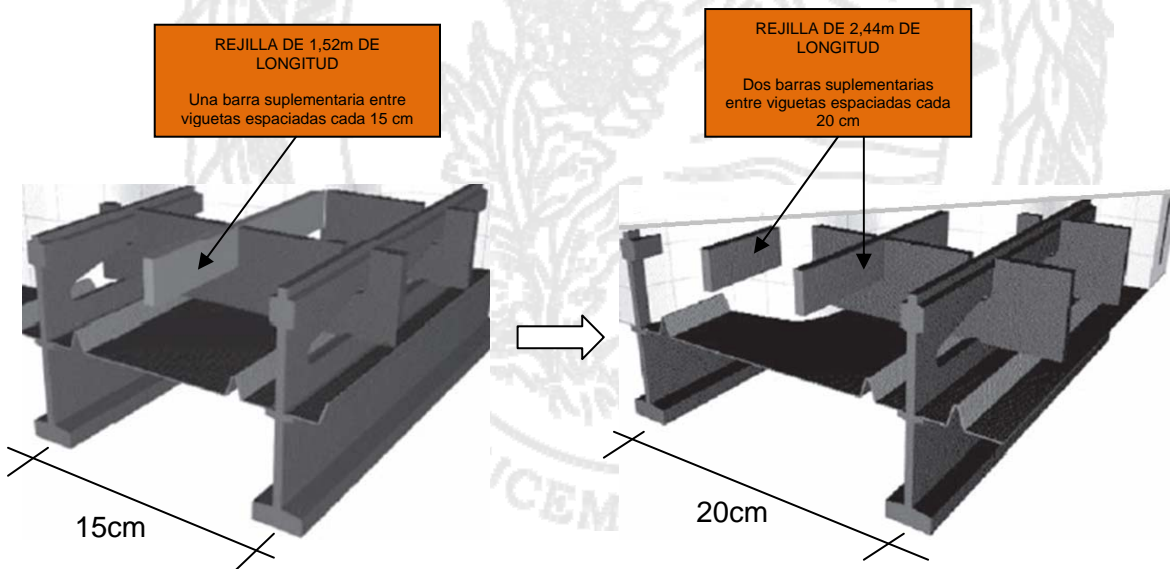


Figura 11. Cambio de rejilla.

Fuente: LB Foster

12.4 Juntas longitudinales

Respecto a las juntas longitudinales, como se indicó anteriormente, los paneles son unidos entre sí mediante la colocación de un perno de arandela y tuerca de $\frac{3}{4}$ " a media altura (a 6,40 cm de la base), aproximadamente cada 20cm, a lo largo de toda la longitud del puente. Al ser paneles individuales, se debe asegurar que la unión de éstos sea adecuada para que se tenga continuidad y se de la transmisión de momento requerida. En otras palabras, se requiere que estas juntas se comporten como si ambos paneles unidos fueran uno solo. De acuerdo con el informe técnico realizado por el Ingeniero Santana en la sección 5.3 (Anexo 1), la colocación de un perno a media altura cada 20cm en la unión de estos paneles (aproximadamente 12 pernos a lo largo de la unión de cada panel de 2,44 m de longitud con el contiguo lateralmente), no aseguran la continuidad necesaria, debido que al ser solo un punto de unión, permite que las placas tiendan a separarse a la altura del "eje neutro" del tablero, a lo largo de las juntas longitudinales. Allí se presenta tracción pura debida a las cargas vivas que actúan sobre paneles consecutivos transversalmente. En la siguiente Figura 12 se muestra el efecto mencionado.

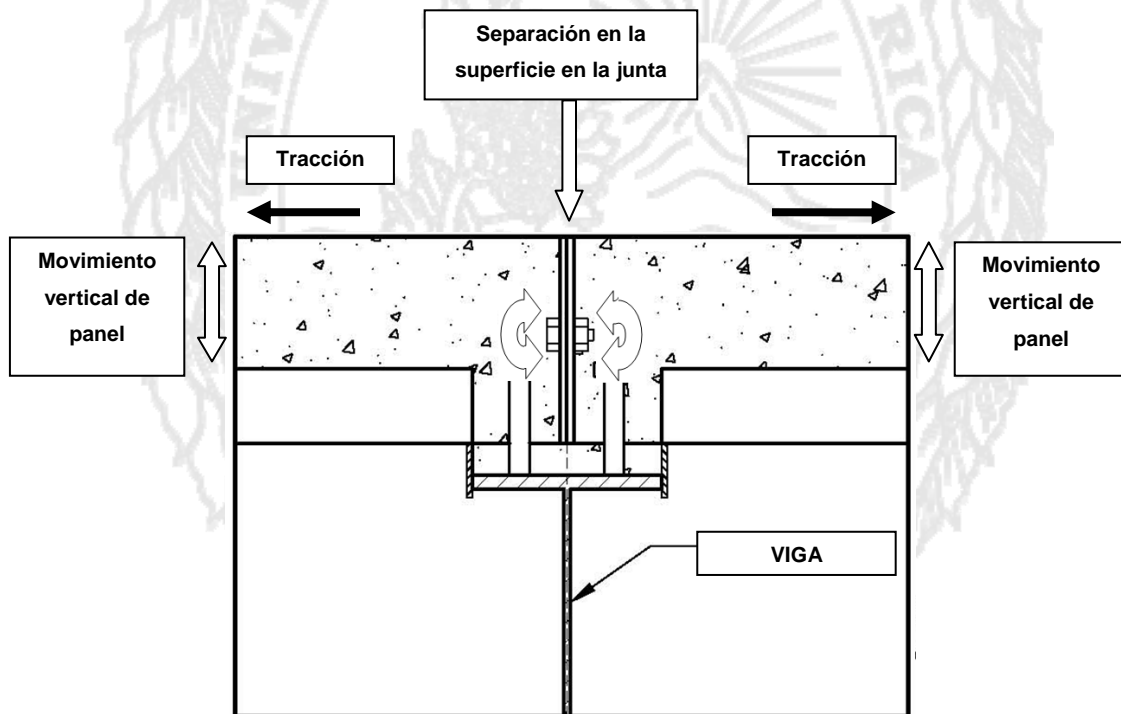


Figura 12. Posible movimiento en la junta longitudinal que provoca separación en la superficie.
Fuente: LanammeUCR

La Fotografía 16 muestra la formación de grietas longitudinales producto de la separación de las juntas provocada por la falta de continuidad de un panel a otro. Esta separación se selló con un producto aplicado en una de las intervenciones para reparar la superficie.



Fotografía 16. Separación formada en la unión de paneles tipo A y B.
Fuente: LanammeUCR

La formación de estas separaciones longitudinales demuestra que se presentan deflexiones de consideración en los paneles, situación que se vería aminorada si existiera una continuidad adecuada en las juntas. Esto afecta principalmente las rejillas tipo A y B en los tramos de 27m y las D y E en el tramo de 76m, debido a que las cargas de los vehículos se aplican cerca de las zonas centrales entre apoyos (entre vigas o largueros principales), lo que provoca deflexiones mayores que en las rejillas tipo C y F, donde las cargas de los vehículos son aplicadas aproximadamente cerca de los apoyos. De acuerdo con esto, además de los giros diferenciales entre paneles en las juntas longitudinales, se contribuye a que se generen con mayor facilidad las deflexiones en los puntos medios de los paneles tipo A, B, D y E, que es precisamente, donde se han generado los principales deterioros a lo largo del puente en ambos sentidos. En la Figura 13, se puede ver un esquema de la aplicación de cargas según el carril utilizado. Se marca de color rojo las zonas de mayor deterioro.

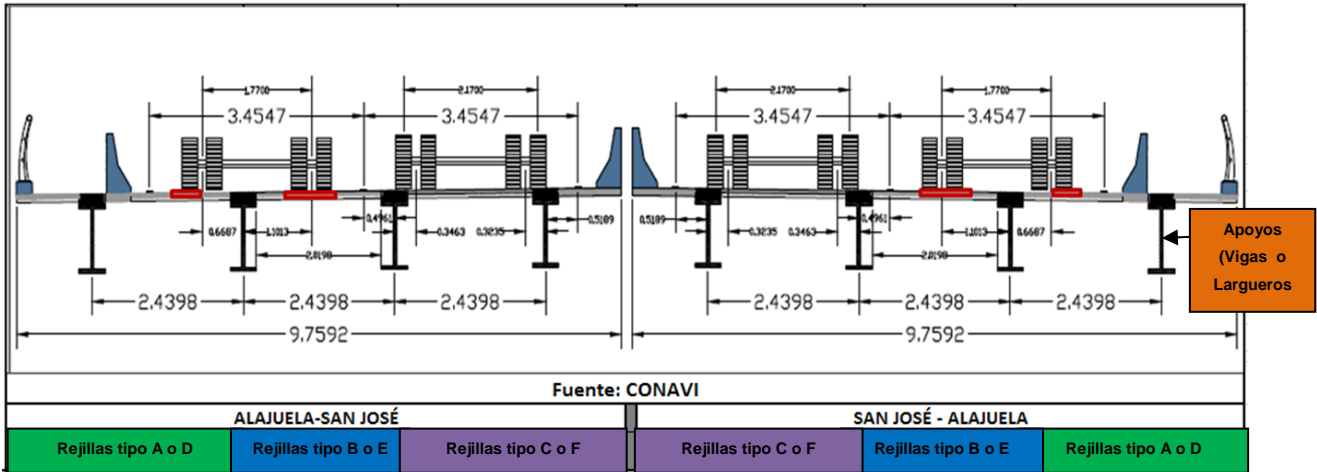


Figura 13. Puntos de carga en el tablero.
Fuente: Conavi

Debido a esto, esta auditoría solicitó al Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR, mediciones con deformímetros (LVDT), en puntos característicos donde se pudiera medir deflexiones diferenciales entre el patín inferior de la viga principal y la cara inferior del centro de los paneles (en la mitad entre los apoyos). En la Figura 14 se muestra la posición de los puntos donde se realizaron los ensayos de deflexiones tanto con deformímetros (LVDT), como con acelerógrafos, ensayo del que se explicará más adelante. De esta manera, se pudieron obtener datos que precisan la magnitud de la deflexión de cada panel adicional a la deflexión presentada en la viga principal. Estas mediciones se realizaron continuamente durante una hora. Es importante mencionar que la deflexión presentada en algunos de los paneles individuales es perceptible a simple vista con el paso de vehículos pesados en la superficie. Para realizar estas mediciones, se necesitaba utilizar un punto de referencia en común para realizar las dos mediciones a la vez y poder relacionarlas. Para esto se tomó como referencia el suelo como base para la fijación de cada deformímetro. Sin embargo, esto fue una limitación debido a que para utilizar el suelo como base para la fijación sólo se contaba con espacios reducidos cercanos a los bastiones en los que existen zonas planas, ya que la pendiente del talud hacia el río inicia a escasos 4 metros del bastión. De acuerdo con esto, estas mediciones se pudieron hacer aproximadamente a una distancia de 3 a 4,50 metros de ambos bastiones, y en consecuencia, solo en 2 de los 3 tramos de 27m (contiguo a los bastiones). Por este mismo motivo, las deflexiones del tramo de 76m tampoco se pudieron medir con deformímetros, donde se esperaría que se presentaran las deflexiones totales más críticas, por su longitud. Los tramos 2 (27m) y 3 (76m) se evaluaron con mediciones con acelerógrafos tal y como se detalla en la siguiente figura.

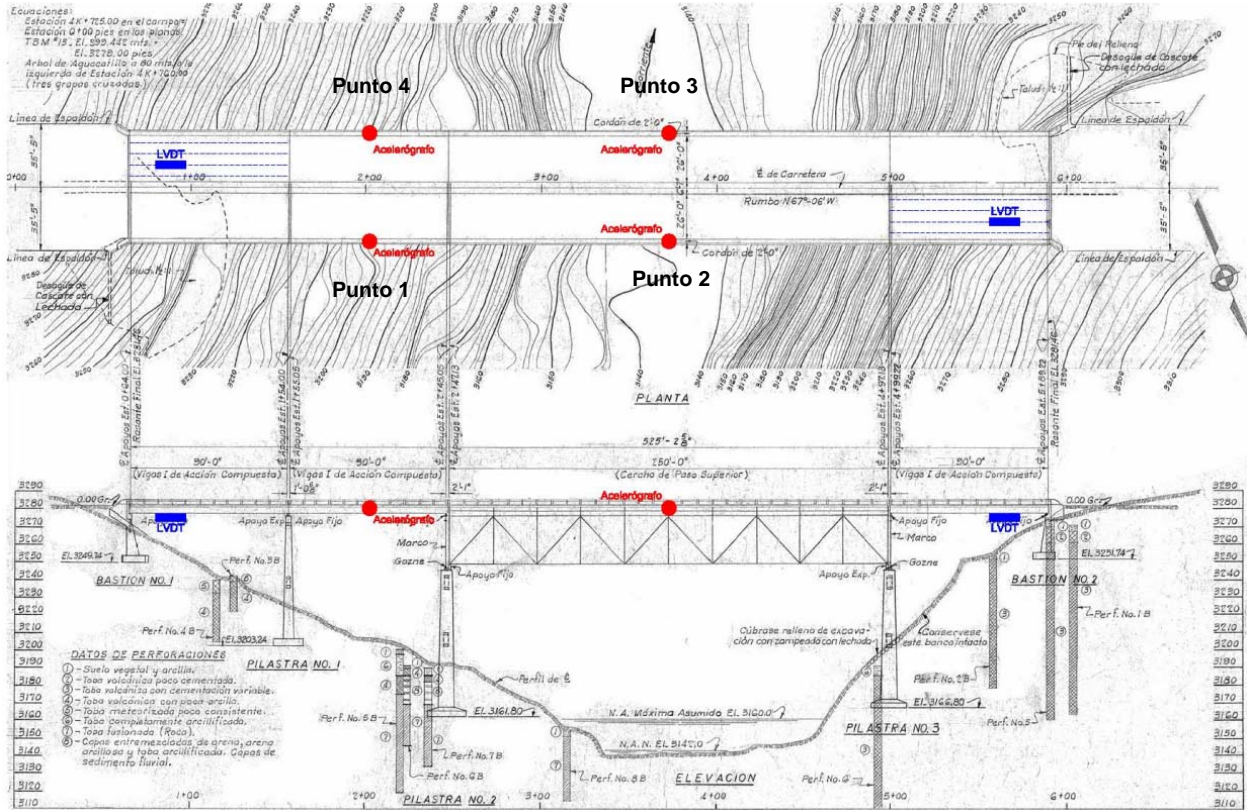


Figura 14. Puntos de medición de deflexiones con deformímetros (LVDT) y acelerógrafos.
Fuente: LanammeUCR

De estas mediciones se pudo registrar que existen tanto deflexiones de los paneles hacia abajo como hacia arriba a partir de un nivel horizontal del tablero en reposo. Esto se explica debido a que en el caso de la carga aplicada directamente sobre el punto de medición, la rejilla se deflecta hacia abajo, pero en el caso de que la carga se aplica en la rejilla o panel anterior o posterior, la conexión en las juntas transversales por medio de las dovelas, hace que por efecto de torsión el punto de medición se deflecte hacia arriba, tal y como se menciona en el estudio técnico.

De acuerdo con el informe técnico del ingeniero Santana (Anexo 1), se analizaron las mediciones realizadas en el tramo 4, al final de la calzada en sentido San José – Alajuela. Se realizaron mediciones de desplazamientos verticales en la viga ubicada entre los paneles A y B, y específicamente en los paneles, en el centro entre los puntos de apoyo. Estas mediciones se realizaron a 4,36m de distancia del bastión 2, debido a la limitación mencionada anteriormente, de colocar el equipo en el punto medio de la viga longitudinal, donde se esperarí mayor deflexión.



En cuanto a las magnitudes deflexiones obtenidas para cada punto individualmente, se experimentaron deflexiones máximas de 12,27mm hacia abajo y 2,50mm hacia arriba (desplazamiento total de 14,77mm) para el caso de la rejilla tipo A. En el caso de la rejilla tipo B, se experimentaron deflexiones máximas de 9,64mm hacia abajo y 3,86mm hacia arriba (desplazamiento total de 13,50mm). Por último, para el caso de la viga principal, se experimentaron deflexiones máximas de 10,44mm hacia abajo y 3,09mm hacia arriba (desplazamiento total de 13,53mm). Es importante considerar que estos valores de deflexión se presentaron en diferente instante, por lo que no tienen relación los medidos en la viga con los medidos en los paneles.

Por otro lado, respecto a las deflexiones de los paneles respecto a la viga, medidos en el mismo instante, se obtuvieron resultados de 3,59mm para el panel tipo A y 2,33mm para el panel tipo B. De acuerdo con la norma Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition, AASHTO 2002 para un claro de 2,02m (distancia efectiva entre un apoyo al otro), no se debe superar el límite de 2,53mm (de acuerdo al desplazamiento máximo de $L/800$). Al obtener una deflexión de 3,59mm, se puede decir que sobrepasa el límite de la deflexión permitida según la norma. Se debe considerar que esta deflexión es la mayor de un conjunto de datos, por lo que no se debe entender que es la única que sobrepasa este límite.

Analizando la deflexión de la viga longitudinal principal entre los paneles A y B, para este caso, de acuerdo con el informe técnico realizado por el Ingeniero Santana (Anexo 1), se obtuvo mediante una función matemática de la deformada, a partir de la medición obtenida a 4,36m de distancia del bastión 2, que para la mitad del claro de 27,4m la deflexión calculada sería de 2,82cm. En este caso, el desplazamiento máximo permitido para la viga longitudinal principal según la norma citada, sería de 3,42cm, por lo que se deduce que no sobrepasa dicho límite permisible, para este caso.

Entre otros aspectos importantes de mencionar señalados en el informe técnico elaborado por el ingeniero Santana (Anexo 1), en la sección 5.3, se presentaron intervalos de vibración con una amplitud de 5mm ocurridos luego del paso de una carga vehicular pesada, en cuyo caso el amortiguamiento resultante es bajo debido a que se requirieron más de diez ciclos de vibración para poder reducir esa amplitud a la mitad. Esto significa que el sistema compuesto de rejilla parcialmente rellena de concreto con vigas longitudinales tiene un bajo amortiguamiento por lo que le toma más tiempo disipar la energía mecánica y disminuir la amplitud del movimiento que le inducen las cargas dinámicas.

Según esta sección del informe técnico, en los casos de losas macizas (concreto reforzado) como la original, esta energía es disipada por medio de la fricción interna del concreto. Para este caso de la rejilla mixta, la huella de la carga dinámica (huella de las ruedas de los vehículos) es mayor que los



segmentos de concreto colocado como relleno de las celdas, por lo tanto su acción no es la misma que en el caso de la losa maciza. Esto se explica básicamente porque se puede decir que no existe continuidad del concreto a lo largo del tablero, ya que las paredes de las celdas no permiten adherencia mecánica con el concreto. Para que existiera esta adherencia mecánica, deberían existir corrugaciones en estas paredes o mejor aún, barras corrugadas de refuerzo en dos direcciones, que permitan integrar el concreto de relleno con los elementos de acero. Esta falta de adherencia se incrementa al utilizar un relleno de solo la mitad de la altura de las viguetas, o sea, a 6,35cm.

Otro punto importante, es que estas circunstancias pueden minimizarse si se utilizara una sobrecapa colada de forma monolítica con los rellenos de las celdas, en donde se integre una rejilla trabajando exclusivamente a tracción y esta sobrecapa con refuerzo en dos direcciones trabajando exclusivamente a compresión, lo cual se traduciría en un mayor amortiguamiento que en consecuencia reduciría la cantidad de ciclos de deflexiones. Según el fabricante de la rejilla, tal y como lo menciona el ingeniero Santana en su informe técnico, en la sección 4.1, en estos sistemas se recomienda el uso de la sobrecapa ya que mejora la calidad de la superficie de ruedo, añade protección contra la corrosión del acero, protege el concreto de las celdas y aumenta las propiedades estructurales de la sección compuesta.

Debido a las limitaciones para colocar el equipo de medición (deformímetros) en puntos deseados y de interés, como se explicó anteriormente, no se puede afirmar que estos puntos de medición utilizados sean los puntos más críticos, por lo que se podría pensar que podrían existir paneles individuales en todo el puente que experimenten deflexiones individuales mayores y por otro lado, que en el tramo de 76m se obtengan mayores deflexiones a nivel de viga principal, situación que es probable debido a las deflexiones observadas a simple vista y a las vibraciones que se perciben.

Teóricamente, cuanto mayor sea el número de ciclos, donde la amplitud va decreciendo lentamente, causa un gradiente de compresión en el concreto aplicado con alta frecuencia (3 ciclos por segundo) tal como lo menciona el ingeniero Santana en el informe técnico, en la sección 5.3. En este caso, se podría hablar de que bajo la huella vehicular (carga viva puntual) se tendrían celdas de concreto sometidas a combinaciones de esfuerzos en dos direcciones actuando al mismo tiempo, aplicados a alta frecuencia, sometiendo el concreto a ciclos de esfuerzos y deformaciones, lo que podría provocar que el concreto falle por aplastamiento o delaminación en la parte superior de la celda, tal como se menciona en la citada sección 5.3 del informe técnico. En consecuencia, esto podría incidir en la pulverización observada, inicialmente en la capa superior del concreto, continuando en capas sucesivas, hasta que el concreto restante se fragmente en piezas. Esto ocurriría principalmente en el centro de los paneles entre apoyos, por donde se aplica directamente la carga vehicular por medio de las llantas, justamente donde existe un espesor de concreto de 6,35cm.

Informe LM-PI-AT-55-11 (3/3)	Fecha de emisión: 09 de agosto de 2011	Página 62 de 77
------------------------------	--	-----------------

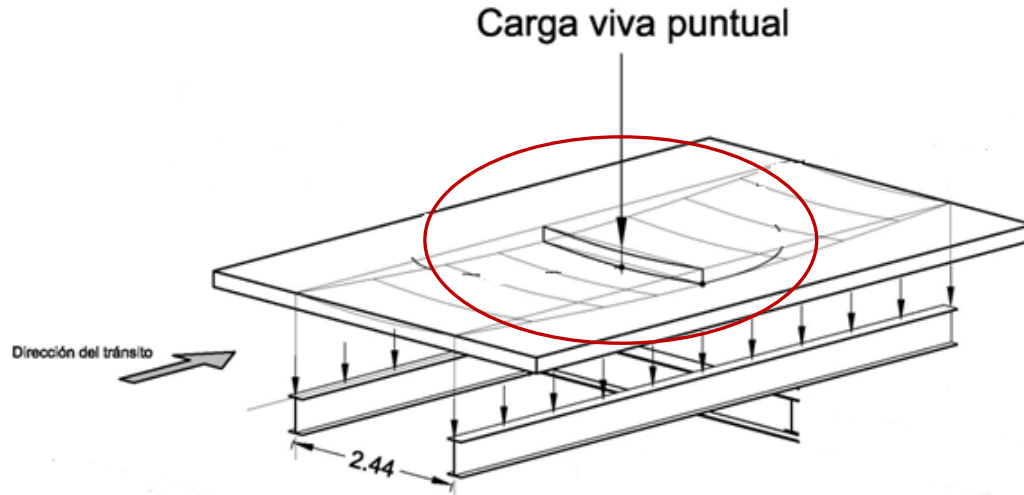


Figura 15. Celdas de la rejilla rellenas de concreto son sometidas a combinaciones de esfuerzos en dos direcciones en los puntos medios de los paneles entre apoyos.

Fuente: LanammeUCR

12.5 Deflexiones medidas con acelerógrafos en los tramos de No.2 (27,4m) y No.3 (76m)

Durante las visitas realizadas al puente, se pudieron experimentar vibraciones importantes sobre el tablero construido. Para comprobar estas vibraciones y las deflexiones experimentadas en los tramos principales del puente, se realizaron mediciones por medio de acelerógrafos digitales de registro continuo. Se realizaron mediciones durante una hora en los puntos medios de los tramos 2 y 3 del puente (27,4m y 76,2m respectivamente), para ambos sentidos (ver figura 14). Con estas mediciones se logró obtener periodos de vibración de los tramos indicados. Se obtuvieron periodos transversales, longitudinales y verticales para los puntos intermedios de los dos tramos para ambos tableros de cada sentido de circulación, situación que demuestra que los desplazamientos que experimenta la estructura del puente no son solo en sentido vertical.

Con la utilización de los acelerógrafos, se registraron tanto desplazamientos positivos como negativos, al igual que con las mediciones realizadas con los deformímetros. Las máximas deflexiones presentadas en los periodos de medición fueron de 2,21cm hacia abajo y 0,94cm hacia arriba para el punto No.1 (tramo 2, sentido San José – Alajuela), lo que resulta un rango de desplazamiento de 3,15cm. El punto No.2 (tramo 3, sentido San José – Alajuela) presentó una deflexión máxima de 1,54cm hacia abajo y 0,94cm hacia arriba, para un rango de desplazamiento de 2,48cm. Por su parte en el punto No.3 (tramo 3, sentido Alajuela - San José) se midió una deflexión máxima de 1,46cm hacia abajo y 1,16cm hacia arriba, resultando un rango de desplazamiento de 2,62cm, y por último el punto No.4 (tramo 2, sentido Alajuela - San José) presentó una deflexión máxima de 1,76cm hacia abajo y 0,92 hacia arriba, para un rango de desplazamiento de 2,68cm.



Cuadro 10. Deflexiones medidas por medio de acelerógrafos.

Punto	Ubicación		Defl. hacia abajo (cm)	Defl. hacia abajo (cm)	Rango de desplazamiento (cm)
	Tramo	Sentido			
1	2	San José - Alajuela	2,21	0,94	3,15
2	3	San José - Alajuela	1,54	0,94	2,48
3	3	Alajuela - San José	1,46	1,16	2,62
4	2	Alajuela - San José	1,76	0,92	2,68

Fuente: Informe Técnico elaborado por el ingeniero Santana

Es importante mencionar que, de acuerdo con la revisión de la documentación técnica aportada a esta auditoría, realizada por la Unidad de Puentes del LanammeUCR, en la memoria de cálculo realizada por la Administración para la verificación de las deflexiones en las vigas principales con cargas vivas y muertas para los tramos de 27m, la deflexión máxima alcanzada por carga viva fue aproximadamente de 5,50cm lo cual excede en un 50% la deflexión máxima permisible, determinada por la longitud del tramo entre 800, o sea, 3,43cm. En la misma memoria de cálculo, para el caso de los largueros de piso de apoyo de la losa en el tramo de 76m, la deflexión máxima por carga viva es siempre menor a la permisible. Sin embargo, resulta oportuno aclarar que estas vigas no son el elemento principal de la superestructura del tramo 3. Se debieron examinar las deflexiones de la armadura para verificar los esfuerzos y el desplazamiento máximo de la armadura para determinar que la resistencia de los elementos no exceden los esfuerzos máximos permisibles y que la deflexión máxima de la armadura no excede la máxima permisible. Sin embargo este cálculo no se realizó por parte de la Administración.

12.6 Resistencia y Estabilidad

Se puede decir que un diseño estructural busca que los diferentes elementos y conexiones que conforman una estructura tengan la resistencia para soportar todas las solicitaciones o cargas a las que son sometidos. Asimismo, la estructura no debería deflectarse, ladearse, tener vibración o agrietarse de forma tal que impida su correcto funcionamiento. Es necesario que todos los componentes y sus conexiones cumplan los requisitos de resistencia y de servicio determinados a partir del conocimiento de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados. Sin embargo, el diseño por resistencia no es suficiente debido a que se debe verificar el cumplimiento de disposiciones respecto a condiciones de servicio. La firmeza y la estabilidad de la estructura deben ser verificadas



por medio de la normativa técnica aplicable para garantizar que no ocurran interrupciones parciales o totales en el servicio.

En este mismo sentido, es importante garantizar que cualquier intervención realizada a una estructura, sea modelada de manera que se determine su comportamiento e impacto de manera integral con el resto de la estructura, y se pueda esperar técnicamente un buen desempeño que se traduzca en una aceptable durabilidad. Además, se deben garantizar los criterios mínimos en la normativa aplicable, para garantizar seguridad de la obra realizada.

Es evidente que hasta hoy los deterioros presentados continúan generándose producto de un inadecuado funcionamiento de la estructura, principalmente por deflexiones y vibraciones indeseables de los paneles que conforman la rejilla construida como superficie de rodamiento del puente. Hoy en día se cuenta con una rejilla mixta reparada en reiteradas ocasiones, y que vuelve a presentar deterioros severos a corto plazo, lo que hace pensar que la intervención escogida para la sustitución de la losa de concreto reforzado original, no fue la más adecuada. De acuerdo con esto, se ha generado un estado de inseguridad de los usuarios al percibir una superficie de rodamiento deteriorada a meses de haberse puesto en servicio, a pesar de que la expectativa de aumento de vida útil era de 75 años, según la Administración, según oficio DVI-373-11. Por otro lado, se ha llegado a una condición de peligro para los usuarios similar a la que se experimentó cuando se deterioró la junta de expansión sobre la pilastra 2, en la losa original del puente, debido a la necesidad de los usuarios de un frenado repentino o por evitar el paso sobre los deterioros severos. Además del riesgo de provocar daños a un vehículo, se generan riesgos mayores como la generación de accidentes de tránsito severos, producto de maniobras para esquivar agujeros existentes o problemas de regularidad de la superficie. Es evidente que el problema raíz que ha generado todos estos deterioros no se ha corregido, lo que ha generado intervenciones que han sido poco efectivas a corto plazo y en consecuencia, a pesar del uso de materiales cementicios de gran resistencia, se podría pensar que seguirán dando problemas en el futuro.

13. DRENAJES CONSTRUIDOS EN LA REJILLA MIXTA DEL PUENTE

Hallazgo 3: El sistema de drenaje utilizado en el puente sobre el río Virilla no cumple con lo especificado en planos.

De acuerdo con los planos aportados a esta auditoría por CONAVI y elaborados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, los drenajes indicados deberían ubicarse cada seis rejillas en el sentido longitudinal de la vía, justamente entre la línea de borde de carril externo y la barrera tipo “New Jersey” que divide la calzada con la zona destinada al paso peatonal. Estos drenajes, según lo indicado en planos deberían ser rectangulares de 15cm por 10cm y de acuerdo con la longitud de rejillas utilizada de 2,44m, deberían de estar espaciados aproximadamente cada 15m a lo largo de cada sentido.

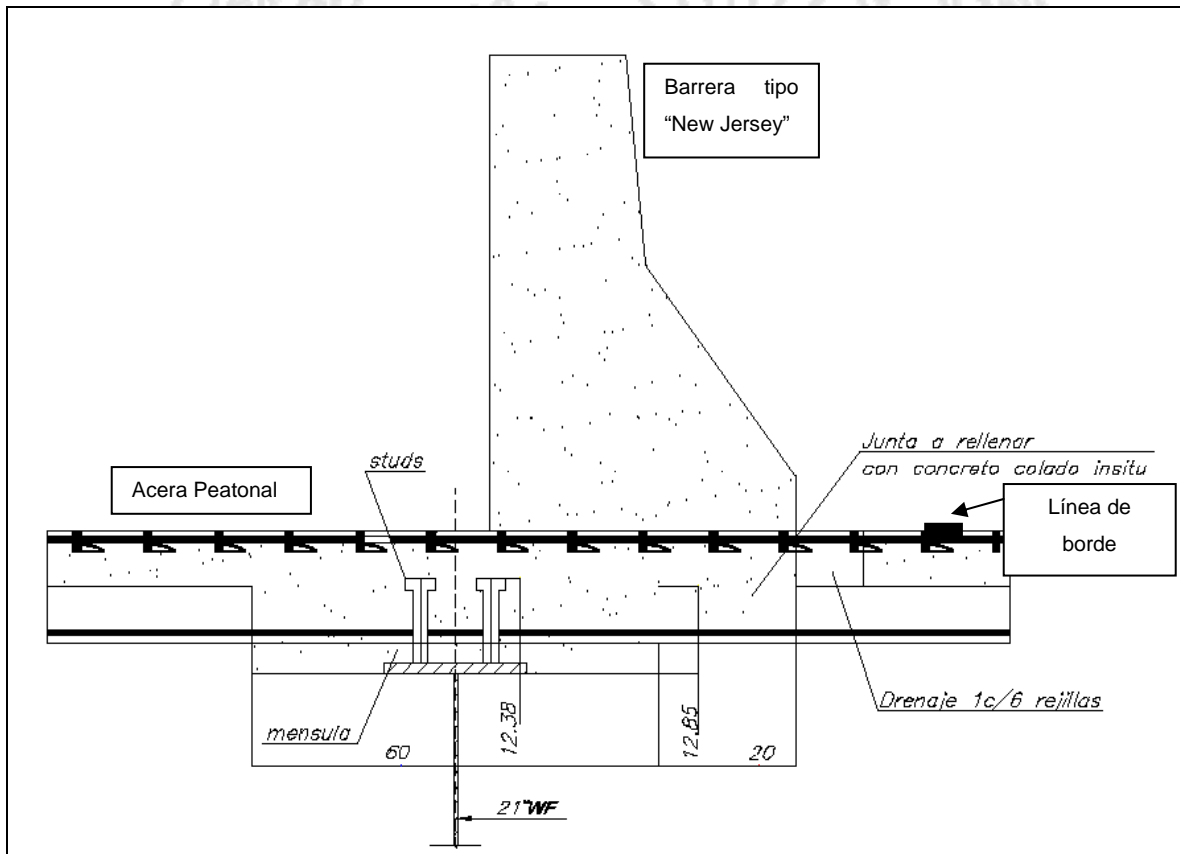


Figura 16. Detalle de los drenajes en planos. Corte transversal al sentido de circulación.
Fuente: CONAVI

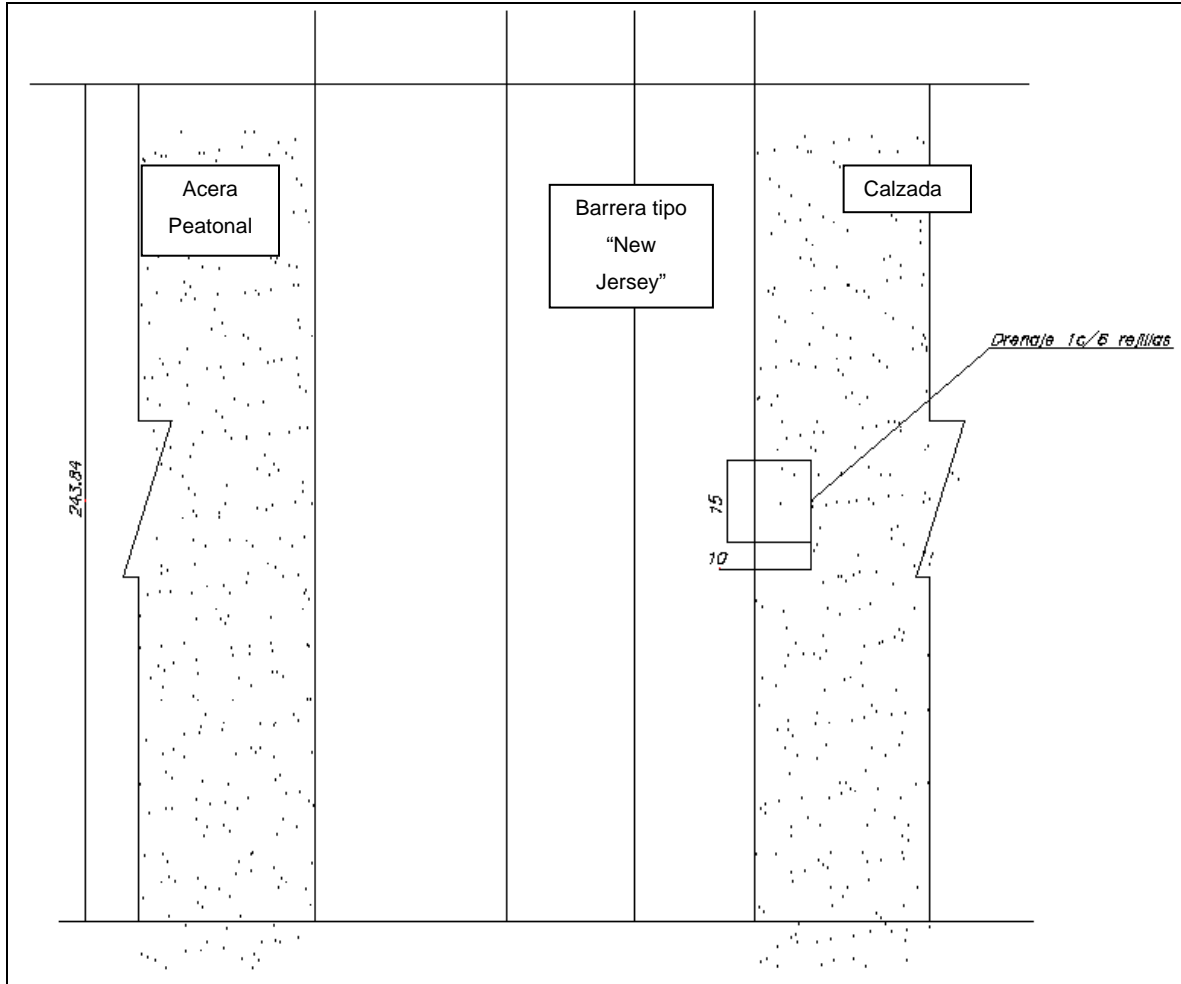


Figura 17. Detalle de los drenajes en planos. Vista de planta.

Fuente: CONAVI

En visitas realizadas al puente, se ha evidenciado que los drenajes existentes no corresponden a los especificados en planos. El equipo auditor encontró que los drenajes construidos se ubican en un área entre la línea de borde del carril externo y la barrera tipo "New Jersey", donde se extrajeron ocho núcleos seguidos, uno al lado del otro en dos filas y espaciados aproximadamente 2cm entre ellos. Cada uno de los huecos hechos son de 5cm de diámetro (2 pulgadas). Cada conjunto de ocho huecos se construyeron a distancias variables a lo largo del puente. En algunos casos, se construyeron cada seis rejillas de 2,44m de longitud y en otros no. Es evidente que no se cumple con el tipo de drenaje ni el espaciamiento especificados contractualmente.

Las fotografías muestran los drenajes construidos en el tablero del puente.



Fotografía 17. Drenajes construidos en el tablero del puente del lado de la calzada.

Fuente: LanammeUCR

En la zona destinada a la acera peatonal, se construyeron drenajes utilizando cuatro huecos del mismo tamaño alineados en una fila, espaciados de la misma forma que los mencionados en la calzada. En la gira realizada el día 11 de mayo 2011, se pudo observar que además de estos, se hicieron huecos individuales adicionales de desagüe, espaciados a distancias variables (típicamente distancias cercanas a 2m), con diámetros de 1,5 pulgadas. Estos desagües construidos en la acera se muestran en las siguientes fotografías.



Fotografía 18. Drenajes construidos en el tablero del puente del lado de la acera peatonal.

Fuente: LanammeUCR

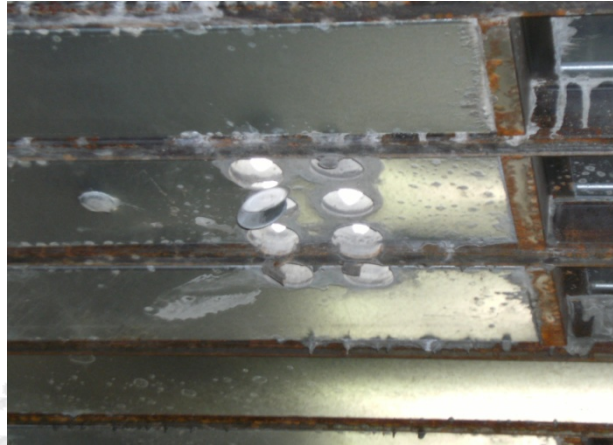


Fotografía 19. Drenajes adicionales de 1.5" (3,75cm), contruïdos en el tablero del puente del lado de acera peatonal.

Fuente: LanammeUCR

Se puede observar que los huecos hechos no responden a ninguna simetría ni un acabado aceptable esperado en una obra nueva, lo que evidencia que, aparte de que no cumple con el tipo de drenaje especificado en planos, son huecos que se hicieron improvisadamente mediante extracción de núcleos, máxime que no cuentan con tubos que canalicen el agua hacia sitios donde no afecten la estructura. En entrevista realizada al Director de proyecto, Ing. Álvaro Ulloa Murillo, menciona que estos drenajes se encuentran inconclusos. Por otra parte, el Ing. Renato Sudasassi Chacón, Ingeniero de Proyecto, hace una anotación en bitácora el día 19 de febrero del 2011, donde indica que no le parece que los huecos de 2" funcionen como drenaje, ya que es fácil que se obstruyan.

Esta auditoría considera que al ser huecos de 5cm (2") y 3,75cm (1,5") de diámetro, son más susceptibles a que se obstruyan con elementos de desecho en la superficie, que los originalmente planteados en planos con un área rectangular de 15cm x 10cm. Respecto a esto la norma AASHTO LRFD 2007, en el comentario C2.6.6.3 recomienda que la dimensión mínima recomendada es de 150mm.



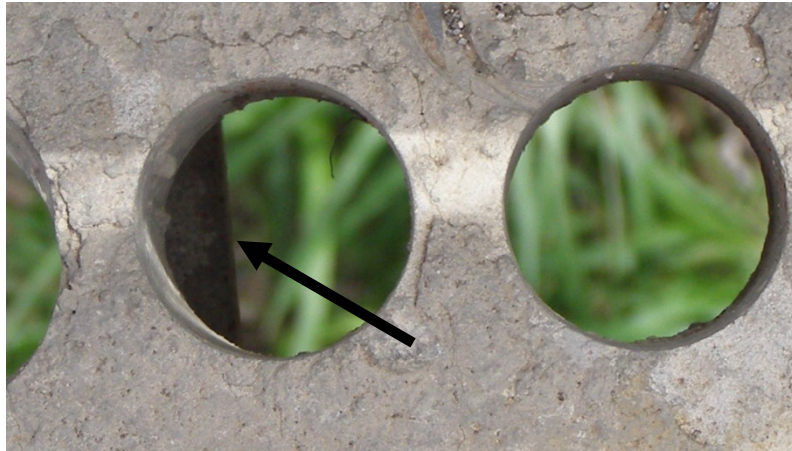
Fotografía 20. Superficie inferior de los drenajes en la calzada.

Fuente: LanammeUCR

Como se puede ver en la Fotografía 20, las salidas de agua no cuentan con conductos que permitan que ésta escurra lejos de la estructura del puente, lo cual contribuye a que se deterioren los elementos de acero ubicados debajo o cerca de ellos, favoreciendo a una posible corrosión que conduciría a la pérdida de la sección y por lo tanto a una reducción de la capacidad de los elementos. La salida del agua, recorre únicamente el espesor de concreto en cada punto de drenaje, que es aproximadamente de 13 cm para el caso de la calzada. De acuerdo con la sección 2.6.6.4 de la norma AASHTO LRFD 2007, los drenajes se deben extender como mínimo 100mm por debajo de los elementos de la superestructura.

En el caso de los huecos realizados en la acera peatonal, el espesor del tablero que atraviesan es de 6,35cm en otros de 13cm aproximadamente, según el sitio donde se extrajeron. En la parte inferior de los huecos se encuentra la lámina que fue utilizada como formaleta, lo que muestra que entre esta lámina y el concreto se podría acumular agua que escurre por estos huecos utilizados como drenaje. Además, se debe tomar en cuenta que en los sitios donde existe un espesor de 6,35cm, parte de la rejilla metálica queda expuesta justamente a la salida del agua de estos huecos.

En la Fotografía 21 se puede ver la exposición de los patines de la rejilla justo debajo de estos drenajes.

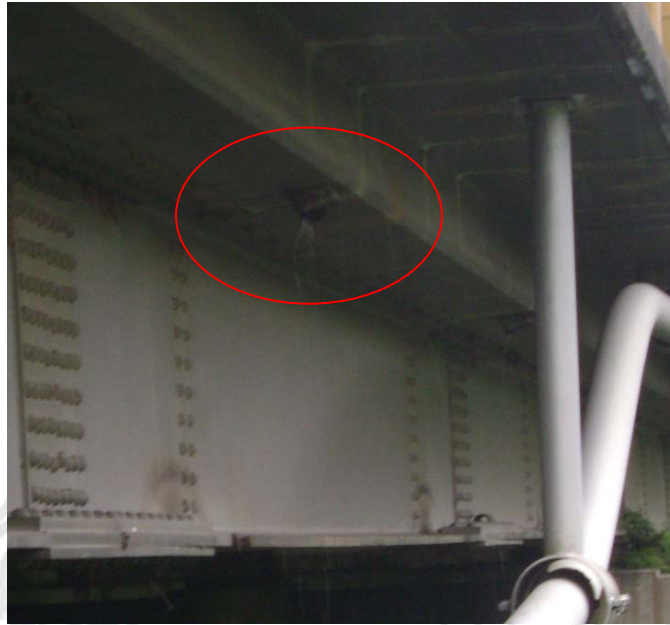


Fotografía 21. Parte inferior de la rejilla expuesta debajo de los drenajes.

Fuente: LanammeUCR

En cuanto al objetivo y función de los drenajes, se debe tomar en cuenta que estos deben ser eficientes para evacuar el agua acumulada en la superficie de forma expedita debido a que si se forman cúmulos de agua afectarían la resistencia al deslizamiento de la superficie, provocando que los vehículos experimenten hidropneumático o derrape, y tomando en consideración que es una superficie sobre un puente, toma mayor relevancia por la peligrosidad que representa. Por otro lado, se debe considerar que si se acumula agua en la superficie, también podría afectar la visibilidad de los usuarios del puente, al levantar agua producto del paso de las llantas sobre posibles acumulaciones. En algunos casos, dependiendo de la cantidad de agua acumulada, se podría producir una sobrecarga sobre el puente.

Según el Director de Proyecto, Ing. Álvaro Ulloa Murillo, el bombeo que existía en la losa antigua, se conservó igual. Según los planos de la losa antigua, la pendiente transversal de bombeo existente era aproximadamente 1% (1/8" por pie) y los drenajes se ubicaban cada 7,5m a lo largo del puente. Los drenajes eran tubos redondos de 10cm de diámetro (4"), colocados de manera inclinada respecto a la superficie de la losa, de forma que la salida de agua se dirigía a los lados de la estructura, tal y como se muestra en la Fotografía 22.



Fotografía 22. Drenajes de losa antigua.

Fuente: LanammeUCR

14. CAPACIDAD SISMICA DEL PUENTE

Hallazgo 4: A pesar de la inversión realizada para la sustitución de la losa de concreto reforzado por la rejilla mixta de profundidad parcial, no se verificó la capacidad sísmica de los componentes del puente para determinar si era necesario mejorar su desempeño ante sismo.

Se debe recordar que las especificaciones con las que se diseñó originalmente este puente no consideraron condiciones de carga de sismo ya que la norma AASHTO no consideraba este aspecto antes del año 1975.

Al existir la posibilidad de que la estructura esté sometida a desplazamientos verticales y horizontales severos como los que genera el efecto de un sismo, la respuesta de este tipo de puentes ante estas condiciones se basa fundamentalmente en mantener la superestructura y el tablero respondiendo elásticamente como una sola unidad. Conociendo esto, se busca que la subestructura aporte la ductilidad necesaria para disipar la energía proveniente del sismo. Sin embargo, de acuerdo con su diseño original, esta estructura no está preparada para brindar esta característica importante en nuestro medio sísmico y no se verificó por medio de estudios completos las necesidades del puente ante sollicitaciones sísmicas.



Como se mencionó en la primera parte del informe “CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO”, de acuerdo con los datos presentados por la Dirección de Puentes del MOPT en agosto del 2009, en relación con los factores de clasificación de bastiones y pilas del puente sobre el río Virilla, muestran que era conocido para el MOPT-CONAVI que estos elementos también presentaban una condición crítica ante sismo, por lo que requerían ser reforzados para resistir solicitaciones sísmicas. Sin embargo, se intervino únicamente la losa del puente, sin tomar en cuenta que se debió verificar por parte de la Administración si era necesaria una adecuación sísmica de los componentes del puente. A pesar de esto, la recomendación de la Dirección de Puentes, consistió en afirmar como ventaja del sistema de rejilla metálica, que esta opción no requería el reforzamiento de vigas y cerchas y se realizó una inversión cercana a los 4 millones de dólares únicamente para la sustitución de una losa de concreto reforzado por una rejilla mixta de profundidad parcial, sobre una estructura que originalmente no contaba con un diseño sísmico.

Es criterio de esta auditoría que realizar una inversión de esta magnitud en el tablero del puente, hace obligatorio realizar los análisis y diseños completos de la estructura entera. Es decir, la Administración debió realizar los análisis estructurales completos y necesarios para valorar el impacto de la sustitución del tablero del puente original (losa de concreto reforzada) por una rejilla metálica parcialmente rellena de concreto, sobre todo tratándose de un puente de esta importancia. En este sentido, para la revisión estructural era necesario verificar no solo la resistencia de los componentes del puente, sino también las deflexiones por cargas de servicio, los esfuerzos de fatiga y los efectos de sismo, aspectos que no fueron evidenciados dentro de la documentación aportada por parte de la Administración a esta Auditoría.

A pesar de que el modelo estructural del puente no fue modificado, la estructura sí cambió debido a que la losa de concreto reforzado fue sustituida por una rejilla parcialmente rellena con concreto, más liviana, estructuralmente diferente a la original y utilizada por primera vez en el país. Era necesario demostrar mediante memorias de cálculo si el cambio afectaría estructuralmente al puente durante la vida remanente.

En el “Reporte Preliminar del Sistema de Piso Mixto Rejilla y Concreto Instalado en el Puente sobre el Río Virilla de la Autopista General Cañas”, adjuntado al oficio DVI-373-11, del 10 de marzo del 2011, y enviado al LanammeUCR, la Ing. María Ramírez, de la Dirección de Puentes del MOPT, menciona:

“...En estos momentos el puente tiene mejores condiciones para soportar sismicidad ya que la losa es más liviana...”



Es criterio del equipo auditor que la condición actual de menor peso de la rejilla mixta no garantiza que las condiciones del puente sean mejores que antes (losa de concreto reforzado), para soportar solicitaciones sísmicas, hasta que sea demostrado mediante memorias de cálculo. Esta condición debió ser verificada por la Administración antes de la escogencia de la intervención que se ejecutó y cuya memoria de cálculo no existe, lo cual fue evidenciado al no encontrarse dentro de la documentación aportada a esta Auditoría.

15. CONCLUSIONES

- Hasta el día 8 de junio 2011, el estado de la rejilla mixta de profundidad parcial cuenta con un 74% de paneles reparados. La aparición de nuevos deterioros, repetidas y constantes reparaciones significan inversiones adicionales, las cuales se reflejan no solo en un costo adicional en la colocación de la rejilla mixta y en la mano de obra, sino también en los costos asociados con la congestión vial provocada por el cierre parcial o total del puente, en la ejecución de la obra y de las reparaciones. Bajo este escenario se corre el riesgo de seguir invirtiendo constantemente en reparaciones sucesivas sin que se logre alcanzar las condiciones requeridas del funcionamiento del puente.
- De acuerdo con la revisión de la segunda parte de este informe llamada “**VALORACIÓN DEL CONCRETO UTILIZADO EN EL SISTEMA DE REJILLA METÁLICA**” (LM-PI-AT-55, parte 2/3), el análisis realizado a las pruebas de calidad hechas al concreto utilizado para rellenar la rejilla, pudo evidenciar que, para la puesta en servicio de los paneles, el concreto cumplió con los requisitos de resistencia solicitados contractualmente.
- El cambio de dimensiones de la rejilla que inicialmente se iba a adquirir respecto a la que se colocó, pudo incidir en cambios desfavorables de rigidez para el sistema, producto de la disminución de la cantidad de acero y de concreto por metro cuadrado. Además las viguetas se espaciaron 5cm más distantes de lo considerado originalmente, el número de juntas transversales a lo largo del puente y donde existen dovelas, disminuyó. Consecuentemente, se podrían generar mayores deflexiones en la rejilla colocada que las que se podían haber experimentado con las dimensiones de la rejilla que originalmente se iba a adquirir.
- No existe una adecuada continuidad en las juntas longitudinales donde se unen lateralmente los paneles, debido a que la unión mediante un perno a media altura, espaciados cada 20cm a lo largo de estas juntas, no garantiza la transmisión de momento requerido por la rejilla para



este tipo de puente, lo cual se evidencia por una visible separación longitudinal en las juntas longitudinales. Esto podría considerarse una contribución más para que se desarrollen deflexiones individuales considerables en los paneles, principalmente en el centro entre apoyos, de los paneles A, B, D y E, que es donde se aplican las cargas de tránsito. Esto coincide con la aparición de mayores deterioros para estos tipos de paneles que conforman la rejilla. En los paneles tipo C y F, las deflexiones podrían ser menores principalmente por que las cargas de tránsito son aplicadas sobre o cercanas a los apoyos y teóricamente circula carga menos pesada. Los deterioros observados en los paneles B y E son los más críticos.

- Aun con las limitaciones presentadas para la colocación del equipo de medición de deflexiones, de acuerdo con los resultados obtenidos, las deflexiones en algunos paneles son considerables a pesar de que no hay certeza de que se hayan medido los puntos más críticos. Esto concuerda con lo observado en el sitio con el paso de tránsito pesado, donde a simple vista se notaron las deflexiones de la rejilla y en algunos casos el movimiento de los cubos de concreto no adheridos al acero. Esto pudo incidir directamente en la formación de deterioros acelerados, la pérdida de concreto y en consecuencia la fractura de elementos metálicos de la rejilla. Se lograron medir valores de deflexión máxima de los paneles individuales de la rejilla del orden de los 3,59mm, lo que sobrepasa la deflexión permisible de 2,53mm ($L/800$) especificada en la Norma Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition, AASHTO 2002. Para el caso de la deflexión de la viga longitudinal principal se obtuvo una deflexión calculada de 2,82cm, para la mitad del claro de 27,4m, valor que no sobrepasa el desplazamiento máximo permitido de 3,43cm para la viga longitudinal principal, según la norma citada.
- La vibración que se puede percibir en el puente y que fue medida mediante ensayos en el sitio, no es amortiguada adecuadamente por las condiciones que posee la rejilla colocada. Este amortiguamiento es lento y podría deberse a la falta de adherencia del concreto con las paredes lisas de la rejilla, a la carencia de la acción de losa en dos direcciones y debido al aislamiento del concreto en celdas individuales por no contar con una sobrecapa recomendada por el fabricante, en la mayoría de los casos.
- La rejilla mixta cuenta con puntos y cordones de soldadura cuya función es mantener la rejilla en posición adecuada hasta que se rellene con concreto y se comporte como un sistema compuesto. Sin embargo, al existir deflexiones importantes en las zonas centrales entre apoyos, podría incidir en que el concreto falle por aplastamiento o por falla de planos



horizontales (delaminación) en la parte superior de las celdas al estar sometido a combinaciones de esfuerzos repetitivos. Consecuentemente, al perder el relleno de concreto y no estar diseñada la rejilla para resistir las cargas de alto tránsito como las que pasan sobre esta vía principal y se fracturan los elementos de acero, poniendo en riesgo la seguridad del usuario y la integridad del resto de la estructura.

- Los drenajes construidos en la rejilla mixta, no cumplen con lo especificado en los planos constructivos, y según lo indicado por los encargados de la construcción, quedaron inconclusos. Estos huecos realizados para que actúen como drenajes, exponen a la zona inferior de la rejilla y a la estructura debajo de la misma a recibir agua constante que escurre de la superficie en temporada de lluvia, lo que incide directamente en corrosión de los elementos de acero del puente.
- Las condiciones con que cuentan los drenajes construidos hacen sean susceptibles a que se obstruyan con desechos que vayan quedando en la superficie de rodamiento debido a que no cumplen con recomendaciones de dimensiones mínimas especificadas en la norma AASHTO LRFD 2007. Esto podría provocar que se acumule agua en la superficie de rodamiento y afecte la resistencia al deslizamiento de los vehículos, la visibilidad de los usuarios y la efectividad de la retroreflectividad de los dispositivos de seguridad vial como son los capitaluces y la demarcación horizontal con pintura.
- Se realizó una inversión de casi 4 millones de dólares para colocar una rejilla mixta de profundidad parcial en sustitución de una losa de concreto reforzado, sin realizar una verificación completa que determinara si era necesario adecuar sísmicamente los componentes del puente, para garantizar un desempeño aceptable de toda la estructura y la eficacia de la inversión. Consecuentemente, en la actualidad, no existe evidencia mediante una memoria de cálculo de que el puente tenga capacidad de resistir solicitaciones sísmicas luego de la sustitución de la losa original.

16. RECOMENDACIONES

- El puente en estudio requiere de una atención inmediata y asertiva por parte de la Administración, que considere una modelación del funcionamiento integral del puente de manera que se puedan determinar los requerimientos reales, que justifiquen la inversión por



realizar, la seguridad de esa inversión, y en cuanto al usuario, le brinde el confort y la seguridad necesaria.

- Se debe tomar en cuenta que al intervenir un elemento de la estructura de un puente, se debe comprobar su funcionamiento global (pilastras, bastiones, tablero, etc) y el efecto que tendrá en el comportamiento de toda la estructura, para garantizar un desempeño adecuado y seguro. Para esto se debe tomar en cuenta en el diseño, además de la consideración de cargas vivas y carga muerta, condiciones de sismo, viento y de deflexiones permisibles que garanticen un buen desempeño del puente para cualquier condición a la que pueda ser expuesto.
- Dependiendo de la decisión de la Administración, en caso de mantener la rejilla colocada, se debe estudiar con más profundidad el comportamiento del puente para determinar las intervenciones y reforzamiento, en caso requerido, que se deban implementar a la estructura, para soportar las condiciones existentes de tránsito pesado e intenso, al igual que los efectos por sismo.
- Se deben concluir los drenajes que según el Director y el Ingeniero de proyecto, quedaron incompletos, tomando en cuenta las recomendaciones de la normativa técnica aplicable, para evitar deterioros de la estructura, principalmente por corrosión por la presencia de agua que no se canaliza adecuadamente fuera de la estructura del puente.
- Se recomienda que el CONAVI realice un monitoreo constante del comportamiento del agua en los momentos que llueva para determinar si el bombeo existente y los drenajes construidos funcionan de forma eficiente en términos de mantener la superficie de la losa del puente libre de acumulaciones de agua, de manera que se prevengan, principalmente, accidentes por hidroplaneo o por problemas de visibilidad.
- Se recomienda que el diseño e intervenciones de puentes críticos debe estar sometido a un Panel Revisor Externo de carácter técnico, de manera que se someta a diferentes criterios para garantizar que la decisión final incluya los requerimientos necesarios para obtener una obra de buena calidad.