Programa de Ingeniería Estructural

LM-PIE-18-2021

INFORME DE INSPECCIÓN

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL TABLERO DE CONCRETO REFORZADO DE LOS DOS PUENTES NUEVOS SOBRE EL RÍO SALITRAL DEL PROYECTO AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE RUTA NACIONAL Nº 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN LIMONAL – CAÑAS.

San José, Costa Rica
Abril, 2021

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Página intencionalmente dejada en blanco

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

1. Informe	2. Copia No.
LM-PIE-18-2021	1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL TABLERO DE CONCRETO REFORZADO DE LOS DOS PUENTES NUEVOS SOBRE EL RÍO SALITRAL DEL PROYECTO AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE RUTA NACIONAL Nº 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN LIMONAL – CAÑAS.	**4. Fecha del Informe** Abril, 2021

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. Notas complementarias
Ninguna

7. Resumen
Este informe de inspección de los dos puentes nuevos construidos sobre Río Salitral, correspondiente al Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Limonal - Cañas, es un producto de la asesoría técnica que brinda el Programa de Ingeniería Estructural (PIE) a la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del LanammeUCR. El informe presenta un resumen de las observaciones y recomendaciones realizadas a partir de la solicitud de criterio técnico de parte del Ing. Mauricio Picado de la UAT y complementadas con la inspección visual de los puentes llevada a cabo el 25 de febrero de 2021.

8. Palabras clave	9. Nivel de seguridad:	10. Núm. de páginas
2021, auditorías técnicas de puentes, informe de asesoría, LM-PIE-18-2021, puentes nuevos, PIE, UAT, rehabilitación, ampliación, Limonal, Cañas, Río Salitral, Ruta Nacional N° 01.	Ninguno	35

11. Preparado por:	12. Revisado por:	12. Revisado por:
Ing. Andrés González León **Programa de Ingeniería Estructural**	**Ing. María J. Rodríguez Roblero, PhD** **Programa de Ingeniería Estructural**	**Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD** **Programa de Ingeniería Estructural**
ANDRES ANTONIO GONZALEZ LEON (FIRMA) Digitally signed by ANDRES ANTONIO GONZALEZ LEON (FIRMA) Date: 2021.04.19 12:55:16 -06'00'	MARIA JOSE RODRIGUEZ ROBLERO (FIRMA) Digitally signed by MARIA JOSE RODRIGUEZ ROBLERO (FIRMA) Date: 2021.04.19 15:27:43 -06'00'	ROLANDO CASTILLO BARAHONA (FIRMA) Digitally signed by ROLANDO CASTILLO BARAHONA (FIRMA) Date: 2021.04.19 17:19:59 -06'00'

13. Aprobado por:		
Lic. Miguel Chacón Alvarado **Asesor Legal LanammeUCR**		
MIGUEL CHACON ALVARADO (FIRMA) Firmado digitalmente por MIGUEL CHACON ALVARADO (FIRMA) Fecha: 2021.04.19 09:23:37 -06'00'		

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Página intencionalmente dejada en blanco

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN....7

2. OBJETIVO GENERAL....8

3. ALCANCE....9

4. OBSERVACIONES....10

5. CONLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 18

6. REFERENCIAS....22

ANEXO A. SOLICITUD DE CRITERIO TÉCNICO DE PARTE DE LA UNIDAD DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR 23

ANEXO B. INFORME DE ENSAYO I-0377-2021 25

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

RESUMEN EJECUTIVO

Se realizaron tres visitas técnicas para evaluar el estado del tablero de concreto reforzado colado en sitio de los dos puentes nuevos sobre el Río Salitral como parte del Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Limonal – Cañas.

A partir de las visitas técnicas, de la información suministrada por la Administración y las mediciones realizadas en conjunto con el Laboratorio de Estructuras del LanammeUCR se realizan las siguientes observaciones:

A. Existe agrietamiento con un patrón denso en ambos tableros.

B. Gran parte de las grietas observadas se encontraban selladas con productos de distinto tipo de acabado y procedimiento de aplicación, al momento de la visita.

C. Se observan grietas sin sellar en zonas donde las grietas ya han sido selladas previamente.

D. Los ensayos de medición de profundidad de grietas realizados muestran que las grietas tienen una profundidad igual al espesor del tablero en algunos de los puntos analizados.

El patrón, dimensiones y condiciones de las grietas observadas en ambos tableros, coincide con características propias de agrietamientos generados por cambios volumétricos debido al cambio en la humedad del concreto y el posible efecto de restricción al desplazamiento que generan las vigas principales sobre las que se apoyan los tableros. Los dos tipos de cambios volumétricos que en combinación pudieron generar el agrietamiento en los tableros de concreto reforzado son:

- Retracción plástica en la etapa de concreto fresco.
- Retracción por secado en la etapa de endurecimiento del concreto.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

1. INTRODUCCIÓN

Este informe de inspección de los dos puentes nuevos construidos sobre Río Salitral, correspondiente al Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Limonal - Cañas, es un producto de la asesoría técnica que brinda el Programa de Ingeniería Estructural (PIE) a la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del LanammeUCR. El informe presenta un resumen de las observaciones y recomendaciones realizadas a partir de la solicitud de criterio técnico de parte del Ing. Mauricio Picado de la UAT (según consta en el correo electrónico que se incluye en el Anexo A) y complementadas con la inspección visual de los puentes llevada a cabo el 25 de febrero de 2021.

La Sección Limonal-Cañas del Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, comprende la sección entre la comunidad de IMAS en el cantón de Cañas y la intersección con la Ruta Nacional N°18 en la comunidad de Limonal. Corresponde al primero de tres tramos de la ruta de 70 km, entre el cantón de Cañas y el distrito de Barranca en el cantón de Puntarenas en proceso de ampliación y rehabilitación. La sección particular consiste en la rehabilitación y construcción de una carretera a cuatro carriles en pavimento rígido (concreto) con una longitud de 20,1 km.

Los dos puentes ubicados sobre el Río Salitral forman parte de los seis pasos sobre ríos donde se construirán puentes nuevos para sustituir la estructura existente y cumplir con la ampliación de la ruta a 4 carriles. En el caso del puente sobre el Río Salitral se contempla la construcción de dos puentes nuevos independientes y paralelos al puente existente, el cual se mantiene como ruta de desvío durante la etapa constructiva de las nuevas estructuras y no es necesaria su demolición para completar la construcción de los nuevos puentes. Durante la visita realizada se inspeccionó visualmente el estado del tablero de concreto reforzado de los dos puentes nuevos sobre el Río Salitral. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de los dos puentes sobre el Río Salitral inspeccionados en la visita al sitio.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

La inspección de los puentes se realizó con la presencia del Ing. Mauricio Picado, de la Ing. Fiorella Murillo, ambos de la Unidad de Auditoría Técnica, y de la Ing. Ana Monge del Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR.

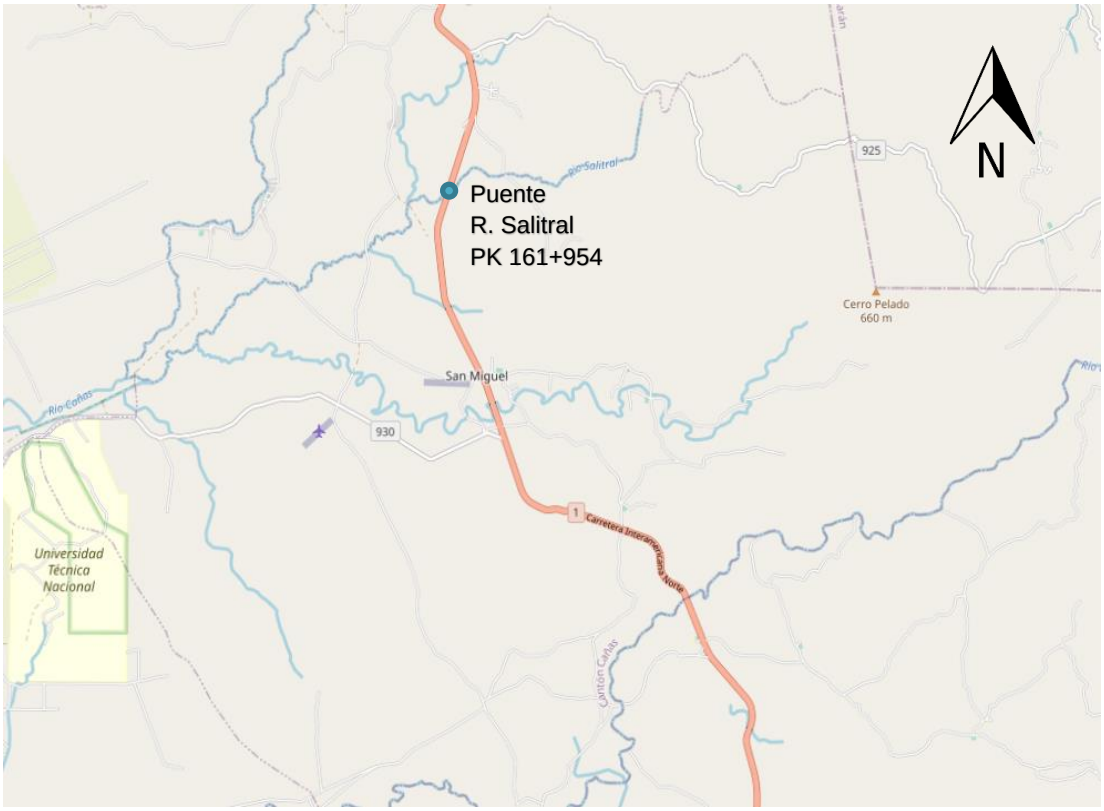

Figura 1. Ubicación geográfica de los puentes visitados durante la inspección del Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Limonal - Cañas**.**

2. OBJETIVO GENERAL

Responder a la consulta señalada por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, específicamente en lo que respecta al criterio técnico del agrietamiento presentado en el tablero de concreto reforzado de los dos puentes nuevos sobre el Río Salitral.

3. ALCANCE

Este informe se limita a presentar un resumen de observaciones encontradas en el sitio el día de la inspección, y las recomendaciones correspondientes a la construcción de los dos puentes sobre el Río Salitral. Específicamente se enfoca en los procesos constructivos y de condiciones de diseño que puedan estar relacionados al agrietamiento de los tableros de concreto reforzado de 0,155 m de espesor. Queda a criterio de la Administración del proyecto definir las acciones a realizar por parte del Contratista para la aceptación de los trabajos en su condición de obra nueva.

Dado que únicamente se inspeccionaron los dos puentes nuevos sobre el Río Salitral, este informe no incluye observaciones ni recomendaciones para los demás puentes que se están construyendo en el proyecto.

Para la realización de este informe se contó con los resultados de los ensayos reportados en los informes de verificación de la calidad realizados por el laboratorio de la supervisión del proyecto durante la ejecución de las obras y que fueron remitidos a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Adicionalmente se incluye en el Anexo B el informe de ensayos denominado *I-0377-2021* realizado por el Laboratorio de Estructuras del LanammeUCR. En el informe se presentan los ensayos no destructivos realizados para la medición de profundidad de grietas realizados en los dos puentes, así como el levantamiento del agrietamiento existente.

Se realizó también una inspección visual al nuevo puente sobre el Río Desjarretado (sección aguas abajo), para observar el estado del tablero de concreto reforzado como referencia, ya que de acuerdo a la visita realiza el pasado 18 de junio del 2020 por el Programa de Ingeniería Estructural y la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, los tableros de los puentes en ambos pasos fueron colados en un periodo similar y fueron curados utilizando el mismo proceso.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

4. OBSERVACIONES

Los puentes aún no se encuentran en servicio. Cabe mencionar que durante la inspección llevada a cabo el pasado 18 de junio del 2020, los tableros de los 2 puentes que componen el paso sobre el Río Salitral, ya habían sido colados y se encontraban en proceso de curado (informe de inspección LM-PIE-30-2020). El proceso de curado de los 2 tableros se realizó utilizando un sistema de curado por humedad colocando un material de graduación fina (arena) humedecido.

4.1. Observaciones del tablero de concreto reforzado Puente R. Salitral LI (aguas abajo)

A. Se observó agrietamiento en red (en dos direcciones) con un patrón denso (espaciamiento entre grietas menor a 0,3 m) en más del 50 % del tablero. El patrón de agrietamiento puede observarse en la Figura 2 y en las figuras 6 y 8 del informe *I-0377-2021*(ver Anexo B).

B. Al momento de la visita, gran parte de las grietas se encontraban selladas con productos de distinto tipo de acabado y procedimientos de aplicación, como se puede observar en la Figura 3. Se desconocen cuáles fueron los tipos de productos utilizados y metodología de aplicación para el sellado de las grietas.

C. Se pudo observar que existen grietas sin sellar en el tablero y además se intersecan con la trayectoria de las grietas que ya han sido selladas previamente, como se observa en la Figura 4. La extensión de las grietas sin sellar ha sido señalizada con pintura blanca por alguna de las partes involucradas del proyecto (ver Figura 4).

D. Se observa que se han extraído 8 núcleos de 0,076 m de diámetro en el tablero de concreto. Los puntos de extracción se ubican sobre algunas de las grietas como se observa en la Figura 5a y en el informe *I-0377-2021*(ver Anexo B). Utilizando los agujeros de la extracción de núcleos como ventanas de inspección, se pudo observar que las grietas atraviesan la profundidad del agujero de la extracción y que el agregado

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

grueso de la mezcla presenta un tamaño máximo menor a 25 mm, como se puede ver en la Figura 5b.

E. El acabado de la superficie terminada del tablero presenta irregularidades en el acabado en cuanto a planicidad, como se puede observar en la Figura 6.

F. Según los resultados de verificación de la calidad del concreto realizados por la Supervisión, se determina que la resistencia a la compresión de 2 de los promedios aritméticos (muestra 1 y 2) de las 3 muestras de concreto fresco colocado en el tablero, son menores que la resistencia especificada en los planos del puente (f'_c = 280 kg/cm^2). Los resultados de laboratorio proporcionados por la Administración para este puente se observan en la Tabla 1.

G. Con base en los resultados de los ensayos no destructivos de medición de profundidad de grietas reportados en el informe *I-0377-2021*(ver Anexo B), se puede observar que las grietas donde se realizaron las mediciones tienen una profundidad igual al espesor del tablero de concreto y tienen ancho de grieta en el rango entre 0,20 mm hasta los 0,70 mm.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Tabla 1. Resultado de muestreos realizados al puente nuevo sobre el R. Salitral LI (aguas abajo). Información suministrada por la Administración

Información General			Resistencia a compresión (kg/cm^2)	Resistencia promedio (kg/cm^2)
Muestra	**Ubicación**	**Fecha de muestreo**		
Resistencia requerida			**280**	**280**
Muestra 1	Tablero R.Salitral LI	5/6/2020	269	**272,3**
			277	
			271	
Muestra 2	Tablero R.Salitral LI	5/6/2020	346	322,0
			290	
			330	
Muestra 3	Tablero R.Salitral LI	5/6/2020	262	**267,7**
			272	
			269	

Figura 2. Agrietamiento en el tablero de concreto reforzado del nuevo puente sobre el Río Salitral LI (aguas abajo)

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Figura 3. Tipos de acabado y aplicación del sellado de grietas en el tablero del nuevo puente sobre el Río Salitral LI (aguas abajo)

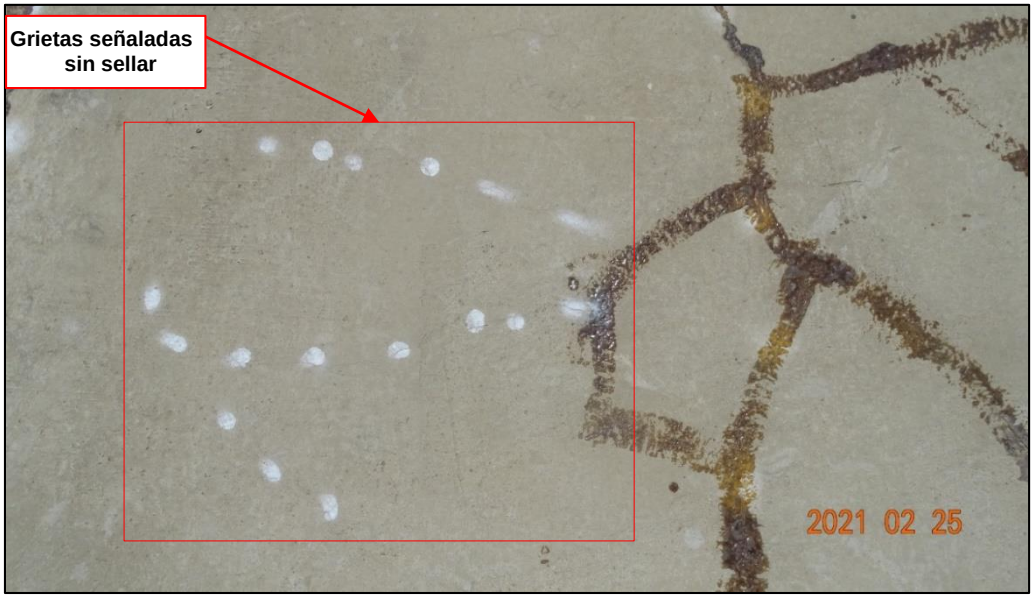

Figura 4. Zona indicada con grietas abiertas aún sin sellar en el tablero del nuevo puente sobre el Río Salitral LI (aguas abajo)

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

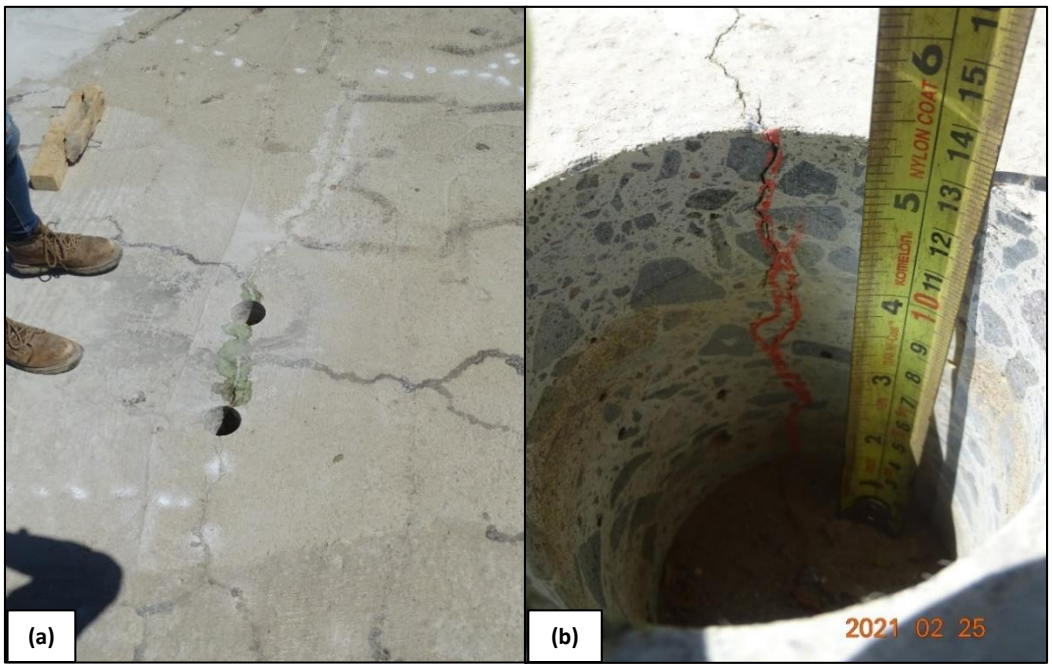

Figura 5. Tablero del nuevo puente sobre el Río Salitral LI (aguas abajo). **(a).** Vista de dos de los puntos donde se hizo la extracción de núcleos por parte de la supervisión. **(b).** Profundidad de la grieta vista en la cara lateral del agujero de extracción de un núcleo.

Figura 6. Diferencia en el nivel terminado de la cara superior del tablero del nuevo puente sobre el R. Salitral LI (aguas abajo)

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

4.2. Observaciones del tablero de concreto reforzado Puente R. Salitral LD (aguas arriba):

A. Se observó agrietamiento en dos direcciones con un patrón moderado (espaciamiento entre 0,3 m a 0,9 m) en aproximadamente un 25 % de área del tablero. También se observan grietas paralelas longitudinales espaciadas en más de 0,9 m en alrededor de un 50 % del tablero. El patrón de grietas identificado puede observarse en la Figura 7 y en el informe *I-0377-2021*(ver Anexo B).

B. Al momento de la visita la mayor parte de las grietas se encontraban selladas con un producto sellante de coloración café oscuro, como se puede observar en la Figura 8. Se desconoce el tipo de producto utilizado y el método de aplicación para el sellado de las grietas.

C. Se pudo observar que existen grietas sin sellar en el tablero y además se intersecan con las grietas que ya han sido selladas previamente (ver Figura 9). Las extensiones de las grietas sin sellar han sido señalizadas con pintura blanca por alguna de las partes involucradas del proyecto como se observa en la Figura 9.

D. En algunos puntos a lo largo de las grietas selladas con el producto de coloración café oscuro se observa que la reparación se encuentra deteriorada (grieta se marca por encima del sellado) como se observa en la Figura 10.

H. Con base en los resultados de los ensayos no destructivos de medición de profundidad de grietas en concreto del informe *I-0377-2021*(ver Anexo B), se puede determinar que las grietas donde se realizaron las mediciones, tienen una profundidad mayor a la mitad del espesor del tablero de concreto y en dos mediciones la grieta atraviesa todo el espesor del elemento. Los puntos medidos presentan anchos de grieta que varía entre 0,20 mm hasta los 0,45 mm

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

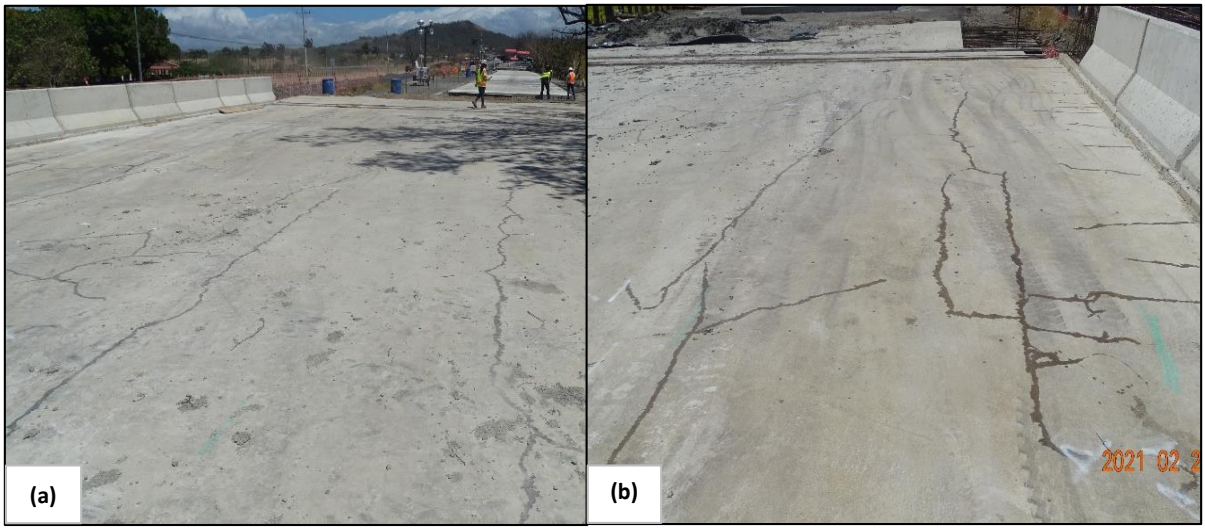

Figura 7. Agrietamiento en el tablero de concreto reforzado del nuevo puente sobre el Río Salitral LD (aguas arriba). **(a)** Vista hacia Cañas. **(b)** Vista hacia Limonal.

Figura 8. Tipo de acabado y aplicación del sellado de grietas en el tablero del nuevo puente sobre el Río Salitral LD (aguas arriba)

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Figura 9. Zona indicada con grietas abiertas aún sin sellar en el tablero del nuevo puente sobre el R. Salitral LD (aguas arriba)

Figura 10. Grieta marcada después del sellado de grietas aplicado en el tablero del nuevo puente sobre el Río Salitral LD (aguas arriba).

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

5. CONLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A partir de lo observado se puede deducir que el agrietamiento existente en el tablero de los puentes en estudio no se ha generado por cargas externas, debido a que los puentes no se encuentran en servicio. La causa principal se puede atribuir a una combinación de factores asociados a la composición de la mezcla de concreto y debido a deficiencias en los procesos para evitar agrietamiento utilizados durante la colocación y posterior etapa de curado en las condiciones ambientales extremas de la zona.

El patrón, dimensiones (ancho y profundidad) y condiciones de las grietas existentes en ambos tableros, coinciden con características propias de grietas asociadas a la pérdida repentina de agua en el concreto en sus distintas etapas (estado plástico y endurecido) generando una retracción en el elemento. Los dos tipos de retracción principales que pudieron causar la fisuración observada en los tableros de concreto reforzado son:

Retracción plástica: se da en la etapa inicial con el concreto fresco, debido a una evaporación acelerada del agua en la superficie del concreto previo al fraguado final y cuando el concreto no ha desarrollado suficiente resistencia. Está asociada a condiciones ambientales que favorecen una rápida evaporación superficial (altas temperaturas, viento y/o baja humedad relativa) así como mezclas con alto contenido de cemento, alta presencia de finos y temperatura de la mezcla al momento de su colocación (Cisneros, 1998).

Retracción por secado: se da en la etapa de endurecimiento del concreto y está asociado a la disminución del volumen provocada por la pérdida de agua del concreto sujeta a algún grado de restricción por otra parte de la estructura o las armaduras de acero embebidas en el elemento. La combinación de retracción y restricción desarrolla esfuerzos de tensión dentro del elemento y por lo tanto agrietamiento (ACI Committee 224, 2001). Una retracción en el tablero de concreto durante su etapa de curado sumado a la restricción que pueden representar las vigas prefabricadas tipo doble “T” sobre las que se apoya y se ancla el tablero, las cuales limitan el desplazamiento asociado al cambio volumétrico, resultando en fisuración cuando el concreto en estado endurecido aún está adquiriendo resistencia.

Debido a la extensión del daño que se observa en los tableros y la variabilidad de factores que pudieron causar el agrietamiento, se considera que los distintos procesos realizados de sellado de grietas no son efectivos y además no garantizan que el elemento reparado pueda ser aceptado en su condición de obra nueva.

Aunque se considera que el deterioro observado no compromete la integridad estructural del puente, si existe una afectación directa a la durabilidad del elemento (grietas de la totalidad de la profundidad del elemento), que puede llegar a representar una disminución en la vida de servicio del elemento y generar la necesidad de intervención a corto plazo en los puentes una vez se encuentren en servicio, lo cual representaría inversiones por parte de la Administración antes del periodo en el que se considera costo-efectiva la atención del tablero.

Adicionalmente, conforme a los resultados obtenidos en la Tabla 1 y lo que determina la norma ACI 318-19 en el apartado *26.12.3 Criterios para aceptación de probetas curado en forma estándar*, el nivel de resistencia de la mezcla de concreto se considera que no es satisfactorio para el tablero del puente sobre el Río Salitral LI (aguas abajo).

Con base en el análisis de las posibles causas de agrietamiento se realizan las siguientes recomendaciones respecto a la condición observada:

- Indicar a la Administración la importancia de implementar medidas para el control del proceso de curado por humedad que se utilizó en este caso, donde se encuentre registrado el tiempo de espera para la colocación del sistema de curado sobre el tablero, tiempo de colocación del material, espesor de material colocado, tiempo que estuvo el material colocado sobre el tablero y la frecuencia de humedecimiento del mismo.
- Se debe contar con procedimientos para el sellado de grietas previamente aprobados por la Administración, donde se incluya las fichas técnicas de productos, métodos de aplicación de los mismos y un plan de aseguramiento de la calidad después de aplicado el método de sellado.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

- Indicarle a la Administración que en el caso de los ensayos destructivos realizados (extracción de núcleos), incluir también ensayos de resistencia a la compresión conforme a la norma ASTM C42 en las muestras extraídas. Con el fin de determinar si el diseño de la mezcla proporcionado por el Contratista alcanzó la resistencia requerida bajo las condiciones de curado aplicadas en los tableros de concreto de ambos puentes.
- Para futuros casos, es importante conocer e identificar las causas del deterioro observado antes de realizar una intervención en el elemento, ya que en caso contrario las medidas implementadas pueden no ser efectivas.
- Indicarle a la Administración la necesidad de realizar un análisis costo–beneficio para la etapa de ejecución en la que aún se encuentra el proyecto y considerando la vida de servicio del elemento, en el que se compare la opción de continuar interviniendo el tablero de concreto reforzado para reparar el deterioro observado o realizar la sustitución completa del elemento.

Además, se realizan las siguientes recomendaciones que se pueden implementar en la ejecución de proyectos con características similares. Estas recomendaciones están basadas en los documentos desarrollados por los comités del Instituto Americano del Concreto (ACI), así como de las especificaciones del CR-2010.

- Mantener la temperatura de la mezcla de concreto dentro del rango especificado (10 ° - 30° C) para losas de puentes como se indica en la sección 552.10 del CR-2010.
- Iniciar el proceso de curado tan pronto como sea posible y mantenerlo humedecido durante el tiempo especificado (al menos de 7 a 10 días).
- En clima caliente, se sugiere indicar el uso de sistemas de curado que aseguren la presencia de humedad para la hidratación del concreto durante las primeras etapas de desarrollo de resistencia.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

- Evitar el secado rápido de las superficies al concluir el periodo de curado especificado, dejar que el concreto nuevo se seque o enfrié gradualmente posterior al periodo de curado.
- Mantener un control sobre la tasa de evaporación durante la colocación del concreto utilizando las medidas necesarias como se especifica en la sección 552.10 del CR-2010.
- En clima caliente, enfriar todas las superficies en contacto con la mezcla de concreto previo a la colocación como se especifica en la sección 552.10 del CR-2010.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

6. REFERENCIAS

R. Cisneros (1998). *XII Curso básico de Tecnología del Concreto: "Agrietamiento y Diagnostico".* Coahuila, México.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2017). Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes, CR-2010. San José, Costa Rica.

American Concrete Institute, ACI Committee 224. (2002). *Control of Cracking in Concrete Structures.* Michigan, EE.UU.

American Concrete Institute, ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete.* Michigan, EE.UU.

American Concrete Institute, ACI Committee 305. (2010). *Guide to Hot Weather Concreting.* Michigan, EE.UU.

American Concrete Institute, ACI Committee 345. (2011). *Guide for Concrete Highway Bridge Deck Construction.* Michigan, EE.UU.

Portland Cement Association, PCA. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.* (1era edición). Illinois, EE.UU.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

ANEXO A.

SOLICITUD DE CRITERIO TÉCNICO DE PARTE DE LA UNIDAD DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Asunto: Agrietamientos en el tablero de los puentes sobre el río Salitral Proyecto: Limonal - Cañas
De: "Mauricio Picado" <mauricio.picadomunoz@ucr.ac.cr>
Fecha: 9/2/2021 16:26
Para: "'ROLANDO CASTILLO BARAHONA'" <ROLANDO.CASTILLO@ucr.ac.cr>
CC: "'ANDRES GONZALEZ LEON'" <ANDRES.GONZALEZLEON@ucr.ac.cr>, "'FRANCISCO FONSECA CHAVES'" <FRANCISCO.FONSECA@ucr.ac.cr>, "'WENDY SEQUEIRA ROJAS'" <WENDY.SEQUEIRA@ucr.ac.cr>, "'DANIEL JOHANNING CORDERO'" <DANIEL.JOHANNING@ucr.ac.cr>

Buenas tardes Rolando,

Quisiéramos solicitarles el criterio sobre los agrietamientos que se presentaron en los tableros de los puentes sobre el río Salitral en el proyecto Limonal – Cañas. Adjunto fotografías sobre los agrietamientos detectados.

Se realizó la solicitud de los criterios empleados por la Administración para la subsanación de estos deterioros y de los materiales empleados, pero estamos a la espera de respuesta.

Adicionalmente, quisiéramos conocer la disponibilidad para realizar una visita al proyecto en marzo y dar seguimiento a la construcción de los puentes del proyecto (peatonales, vehiculares, intercambio y pasos a desnivel) y visualizar los agrietamientos mencionados previamente.

Saludos y gracias,

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
LanammeUCR

Ing. Mauricio Picado Muñoz
Auditor Técnico
Unidad Auditoría Técnica

+506 2511-2743 | +506 2511-2500
mauricio.picadomunoz@ucr.ac.cr

ANEXO B.

INFORME DE ENSAYO I-0377-2021

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Informe de Ensayo

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

1. Información del cliente:

Nombre: **Auditoría Técnica**

Proyecto: Puentes sobre el río Salitral ampliación Cañas-Limonal, Ruta No.1

Contacto: LanammeUCR, San Pedro de Montes de Oca, San José.

2. Muestreos y métodos de ensayo:
IT-MV-02 (Mapeo de Grietas, ver descripción de procedimiento en el apartado 5.1.1. (**)
ASTM C 597 Profundidad de grietas en concreto. (**)
(**) Ensayo no acreditado

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

No. de identificación:	**Descripción:**
No aplica	Losa de puente. Ver ubicación en Figura 1.
Aportadas por:	No aplica
Fecha de recepción:	No aplica
Fecha de realización del ensayo:	2021/03/02 - 2021/03/11
Lugar de realización del ensayo:	LanammeUCR Sede Central

4. Información del muestreo:
Muestreo realizado por el cliente. Persona responsable de la muestra: Ing. Francisco Fonseca Chaves.

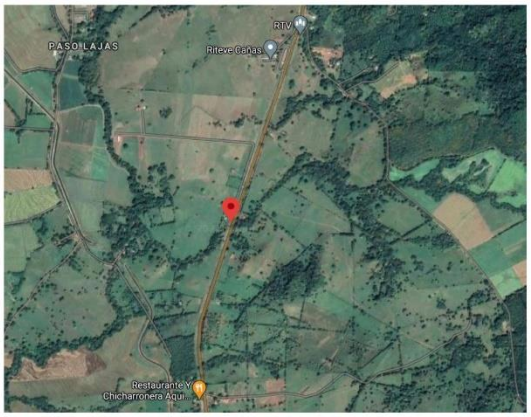

Figura 1. Ubicación de puente en análisis.

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

5. Resultados:

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de mapeo, apertura y profundidad de grietas en las losas de los puentes sobre el río Salitral (aguas abajo y aguas arriba) ampliación Cañas-Limonal, Ruta No.1

5.1 Mapeo y profundidad de grietas

5.1.1 Procedimiento:

El mapeo de grietas de cada puente (aguas abajo y aguas arriba) se realiza por secciones de la losa, misma que se divide en nueve segmentos de y que se presentan en la Figura 4. Cada segmento tiene un área de 4,67 m por 7,2 m. A partir del perímetro de la losa vista en planta se referencian las grietas y se define la trayectoria de las mismas. En las figuras 6 y 7 se muestran los segmentos con el levantamiento de campo integrados en una sola imagen. Adicionalmente se miden aberturas de grieta con lupa con capacidad de magnificación x8. Para cada zona analizada, se realiza un esquema del patrón de agrietamiento encontrado que se representa en las Figuras posteriores y correspondientes a cada sección.

Para la medición de profundidades de grieta se selecciona el lugar para la realización del ensayo, en esta zona es necesario asegurar un acoplamiento acústico entre la superficie de concreto y los transductores del equipo de ultrasonido. Para asegurar esto, los puntos donde serán colocados los transductores son pulidos utilizando una esmeriladora eléctrica.

Cada medición de profundidad de grieta requiere dos lecturas. En la primera lectura cada transductor se separa una distancia "b" con respecto a la grieta a ensayar. En la segunda lectura, los transductores se desplazan a una distancia "2b". Para cada una de las lecturas es necesario realizar una cuidadosa medición de la separación de los transductores, ya que esta información es necesaria para que el dispositivo determine correctamente la profundidad de grieta. El valor de b utilizado en la realización de los ensayos es de 100 mm. Este es el valor mínimo recomendado por el fabricante del equipo cuando la matriz donde se realiza el ensayo contiene agregados con tamaños menores a 20 mm.

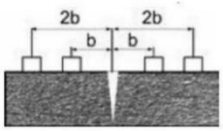

Figura 2. Mediciones a distancias "b" y "2b", ensayo de ultrasonido.

Antes de colocar los transductores en los puntos donde se realizará la medición, se coloca una capa de gel conductor que ayude asegurar un sello acústico de ambas superficies (ver Figura 3).

ANIVERSARIO LanammeUCR 1976-2021
Luchemos contra los Efectos del cambio Climático Antropogénico
Año de las Universidades Públicas por la conectividad como derecho humano universal
2021 Bicentenario de la Independencia de Costa Rica

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

Figura 3. Separación de transductores, ensayo de ultrasonido.

Si la matriz donde se realiza el ensayo se encuentra muy agrietada, si la grieta que se está analizando atraviesa por completo la sección transversal del elemento, si existen un desprendimiento del repello (en el caso de paredes) o por algún otro factor la señal que reciba el transductor receptor es muy débil, se notifica al usuario con un mensaje en pantalla de "error 1" ver Figura 4. Cuando se indica error tipo 2, el equipo indica que no se cumple la condición que el tiempo de recorrido de onda en la primera lectura sea mayor a la mitad del tiempo de recorrido en la segunda lectura. Esto puede suceder si en el punto de la segunda medición existe una condición que genere que la onda recorra una menor distancia. Puede que la distribución de acero de refuerzo en ese punto, sea un aspecto que favorezca este tipo error, ya que el acero puede fungir como un puente acústico.

Figura 4. Error asociado a una señal débil entre transductores.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

5.1.2 Resultados del ensayo:

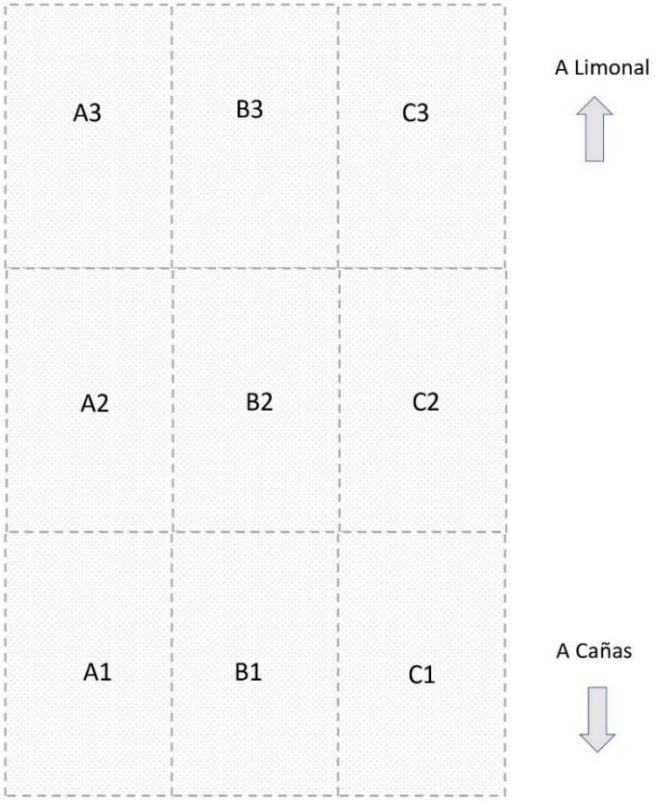

Figura 5. Vista en planta de losa analizada.

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

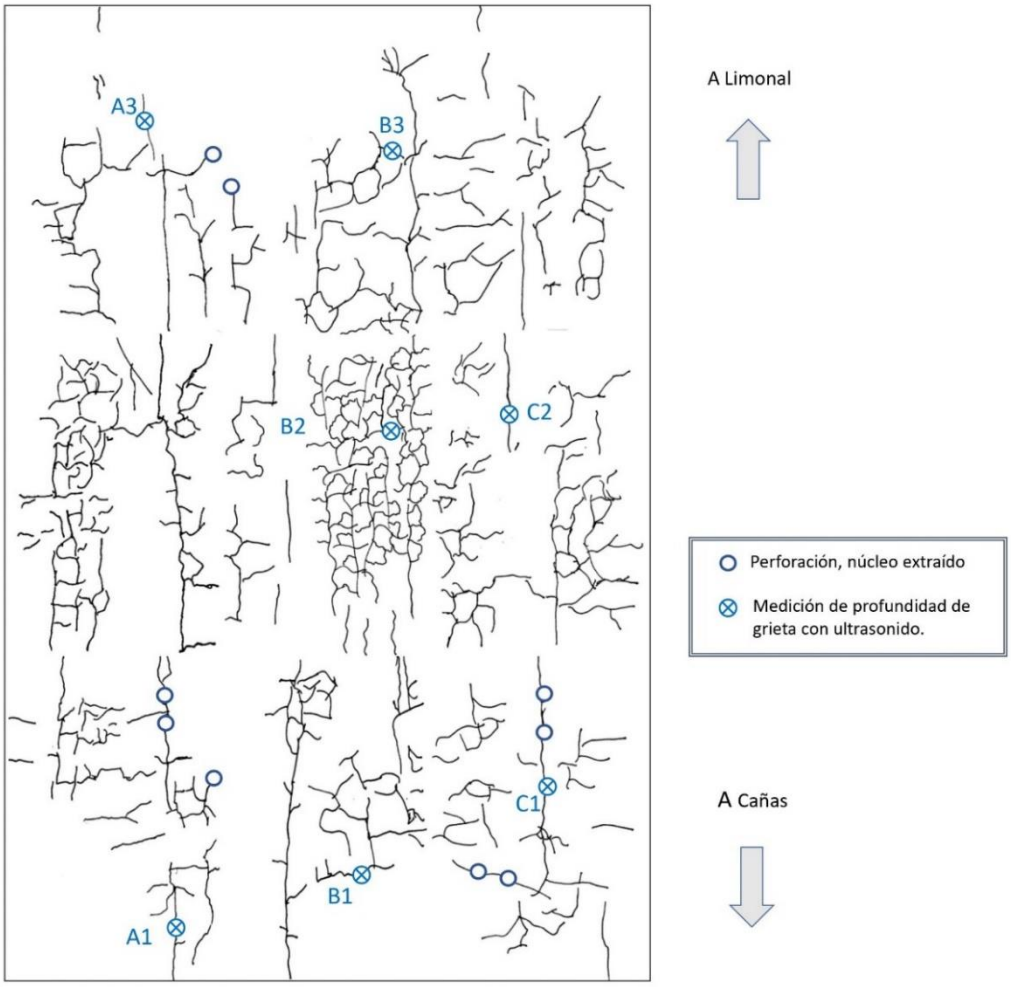

Figura 6. Distribución de grietas en puente río Salitral (aguas abajo)

75 ANIVERSARIO LanammeUCR
Luchemos contra los Efectos del cambio Climático Antropogénico
2021 Año de las Universidades Públicas por la conectividad como derecho humano universal
Bicentenario de la Independencia de Costa Rica

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

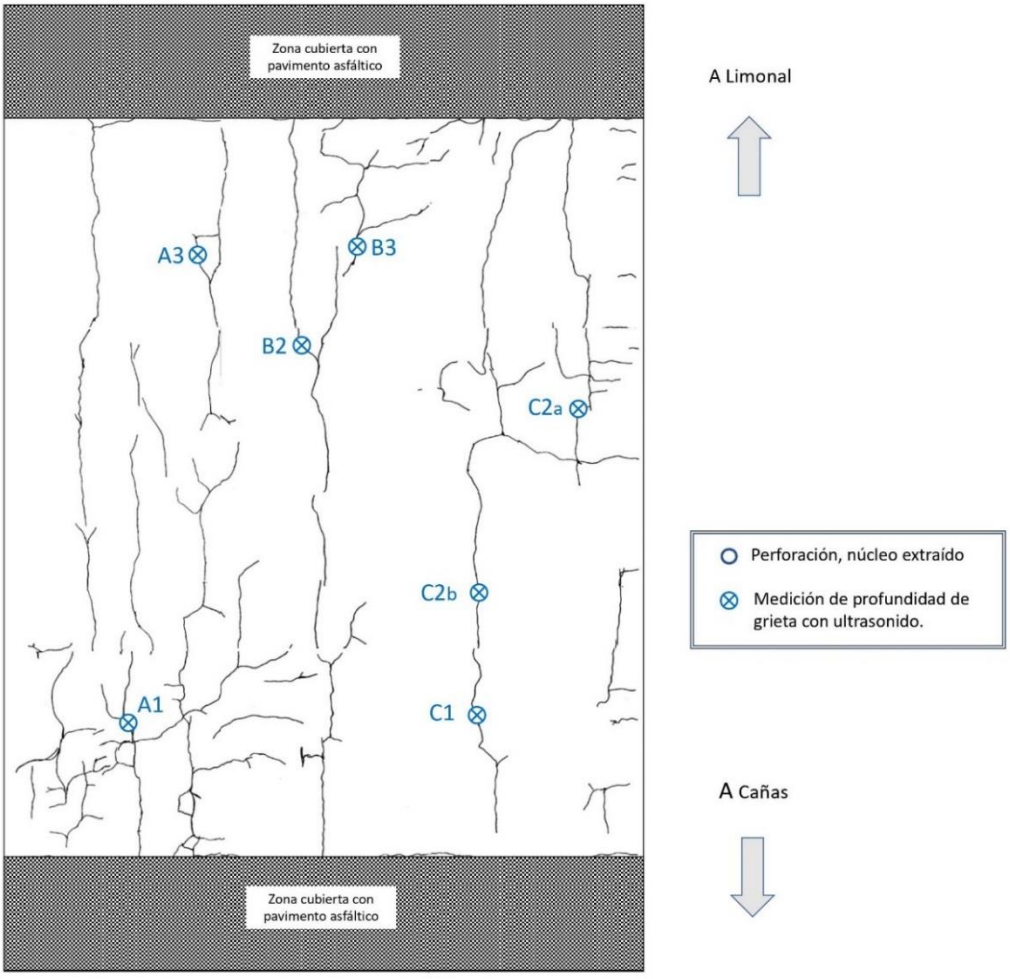

Figura 7. Distribución de grietas en puente río Salitral (aguas arriba)

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

(a) (b)

Figura 8. Tipo de agrietamiento en losa puente rio Salitral aguas abajo: a) sección A2, b) sección B2.

Figura 9. Puntos de medición de profundidad de grieta en losa puente rio Salitral aguas abajo.

ANIVERSARIO LanammeUCR 1955-2021
Luchemos contra los Efectos del cambio Climático Antropogénico
Año de las Universidades Públicas por la conectividad como derecho humano universal
2021 Bicentenario de la Independencia de Costa Rica

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

(a) (b)

Figura 10. Tipo de agrietamiento en losa puente rio Salitral aguas arriba: a) sección B1, b) sección C2.

(a) (b)

Figura 11. Puntos de medición de profundidad de grieta en losa puente rio Salitral aguas arriba.

ANIVERSARIO LanammeUCR
Luchemos contra los Efectos del cambio Climático Antropogénico
Año de las Universidades Públicas por la conectividad como derecho humano universal
2021 Bicentenario de la Independencia de Costa Rica

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

Tabla 1. Resultados de ensayo de ultrasonido.

Elemento	Idetinficación punto de medición	Profundidad de grieta medida (cm)	Abertura de grieta (mm)
Puente aguas abajo	A1	45,3	0,40
	A3	27,3	0,20
	B1	error 2	0,30
	B2	20,2	0,30
	B3	15,2	0,20
	C1	23,6	0,70
	C2	26,3	0,40
Puente aguas arriba	A1	error 2	0,20
	A3	error 2	0,30
	B2	10,1	0,45
	B3	31,5	0,30
	C1	21,9	0,20
	C2a	12,7	0,30
	C2b	9,0	0,20

Nota: Existen puntos de medición en donde la profundidad de grieta medida supera el espesor nominal de la losa (15,5 cm), lo cual debe analizarse en cada caso considerando la estructuración de los puentes en cuestión (ver Figura 12). La profundidad de grieta reportada en estos casos, varía en función de la ubicación interna en donde se produzca un puente acústico entre la losa y el elemento prefabricado inferior.

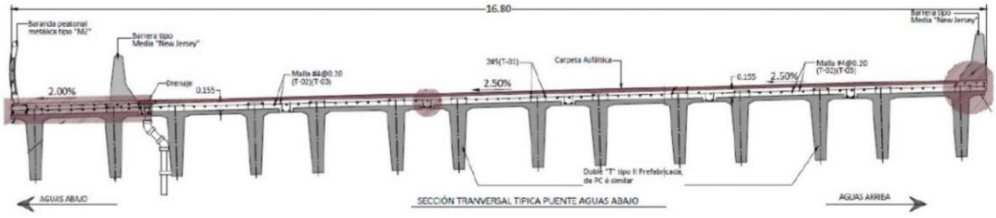

Figura 12. Esquema de sección transversal típica puente río Salitral

ANIVERSARIO LanammeUCR 1975-2021
Luchemos contra los Efectos del cambio Climático Antropogénico
Año de las Universidades Públicas por la conectividad como derecho humano universal
2021 Bicentenario de la Independencia de Costa Rica

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Código: RC-080 V13	**No. de informe: I-0377-2021**	ST-0141-2021

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- La fecha de emisión de este informe de ensayo corresponde con la fecha indicada en la firma digital del director del LanammeUCR o su sustituto. Lo anterior no aplica para una emisión en físico de este documento.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:	**Revisó:**	**Aprobó:**
Firmado digitalmente por FRANCISCO DAVID VILLALOBOS RAMIREZ (FIRMA) Fecha: 2021.03.24 16:13:49 -06'00'	LUIS CARLOS MESEGUER QUESADA (FIRMA) Firmado digitalmente por LUIS CARLOS MESEGUER QUESADA (FIRMA) Fecha: 2021.03.24 16:22:03 -06'00'	Firmado digitalmente por ALEJANDRO NAVAS CARRO (FIRMA) Fecha: 2021.03.24 16:59:53 -06'00'
Ing. Francisco Villalobos Ramírez, M.Sc. ***Jefe Laboratorio de Estructuras***	**Ing. Luis Carlos Meseguer Quesada, MBA** ***Coordinador de Laboratorios*** ***Área de Construcción***	**Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.** ***Director LanammeUCR***

----------ÚLTIMA LÍNEA----------

ANIVERSARIO LanammeUCR 1975-2021
Luchemos contra los Efectos del cambio Climático Antropogénico
2021 Año de las Universidades Públicas por la conectividad como derecho humano universal
Bicentenario de la Independencia de Costa Rica

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.