

Diagnóstico del deterioro de puentes en la Zona 6-1, San Carlos Este.



Abstract

This project basically consists of the diagnosis of the deterioration of bridges located to the east of San Carlos, zone 6-1.

The objective of this project focused mainly in the realization of an analysis to look for the establishment of the deterioration causes, the degree of damage so far, and the way to reinforce or partially rebuilt some of the most affected bridges in the zone 6-1.

Talking about the methodology used to complete this study over the bridges in San Carlos, consultation to the Manual of Inspection of Bridges used in Peru were done, which allow us to compare it against the one used in Costa Rica by the Direction of Bridges of the MOPT. In this way similarities and differences were found which came to enrich the methods used to evaluate and identify damages to the bridges during this work.

On the other hand, field visits were carried on with the intention of integrate ourselves into the evaluation process and to have a real notion of the damages and causes of these in the bridges of the national road network, as well as to generate a database, classifying the structures, taking into account the type of material, length and nature of the damage.

To the date of September 2009, thirty-three (33) bridges have been documented with their respective deficiencies, and to those bridges that were possible, technical proposals have been given to obtain optimal operation again.

The deterioration of the bridge structures in this zone are due mainly to the lack of maintenance, which is related unquestionable to the limited resources destined to this area in San Carlos. The main identified damages are problems of undermining in bastions, corrosion, oxidation and deterioration of the beams of concrete. The key words for which the work will be identified are:

- | | |
|-------------------|-------------------------|
| 1. Bridge | 5. Bridge deterioration |
| 2. Superstructure | 6. Corrosion-oxidation |
| 3. Substructure | 7. Water filtration |
| 4. Undermining | 8. Maintenance |

Resumen

El proyecto consiste básicamente en el diagnóstico del deterioro de puentes en la Zona 6-1 San Carlos Este.

El objetivo de este proyecto está enfocado a realizar un análisis del establecimiento de las causas de deterioro, el grado de afectación y la forma de reforzamiento o readecuación, de algunos de los puentes más afectados en la Zona 6-1.

Dentro de la metodología aplicada en el análisis de los puentes se encuentran las consultas al Manual de Inspección de Puentes utilizado en Perú, observando características que concuerden o diverjan con el Manual de Puentes creado por la Dirección de Puentes del MOPT, acerca de los métodos de evaluación e identificación de daños.

Por otro lado, se realizaron visitas de campo con la intención de integrarlas en el proceso de evaluación y tener un conocimiento real de los daños y sus causas en los puentes de la red vial nacional, así como generar una base de datos, clasificando las estructuras según el tipo de material, longitud y naturaleza del daño.

A la fecha (setiembre 2009), se tienen 33 puentes documentados con sus respectivas deficiencias y, en aquellos donde la necesidad de propuestas técnicas era evidente para su funcionamiento óptimo, se plantearon las posibles soluciones a estos defectos.

El deterioro de las estructuras de la zona se debe principalmente a la falta de mantenimiento, el cual está ligado al escaso recurso presupuestario destinado a esta área. Los principales daños identificados son problemas de socavación en bastiones, corrosión- oxidación y deterioro de las vigas de concreto.

Las palabras claves con las que el trabajo será identificado son:

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1. Puente. | 5. Deterioro de puentes |
| 2. Superestructura. | 6. Corrosión-oxidación. |
| 3. Subestructura. | 7. Filtración de agua. |
| 4. Socavación. | 8. Mantenimiento. |

Diagnóstico del deterioro de puentes en la Zona 6-1, San Carlos Este

STEFFANY ZAMORA CHAVES

Proyecto Final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Enero del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	5
MARCO TEORICO	6
METODOLOGÍA	13
RESULTADOS	16
ANALISIS DE RESULTADOS	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ...	69
ANEXOS	72
REFERENCIAS.....	73

Prefacio

El desarrollo de este proyecto es parte importante de un estudio efectuado por la Dirección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

Específicamente se analizó el estado de los puentes de la Zona 6-1 San Carlos Este. Sin embargo, el tipo de evaluación no es efectuado solamente en esta región, pues el país se encuentra dividido en otras zonas de control, encargadas de llevar a cabo la misma actividad.

El desgaste de las estructuras está ligado a una variedad de causas, tal es el caso de los cambios climáticos, el alto volumen de vehículos que transitan diariamente, la edad de cada estructura y la falta de proyección en los diseños; las cuales generan fenómenos de socavación, corrosión-oxidación, fatiga, agrietamiento, entre otros. Lo anterior justifica la necesidad de contar con programas de evaluación del deterioro de los elementos que constituyen la estructura en general, como parte del desarrollo económico y social del país, ya que a través de los años, Costa Rica se ha caracterizado por dejar de lado el estudio de los puentes y se ha enfocado en reparaciones de caminos, los cuales no cumplen su función sin el buen servicio de los puentes.

Aún evaluando sólo una fracción de los puentes del país, se pretende dar a conocer los problemas sufridos a raíz de la falta de cultura de mantenimiento y que, de alguna forma, aumentan el retraso o retroceso en la infraestructura de las distintas zonas, la cual incide directamente en los niveles de expansión económica y en el crecimiento de la producción nacional

Por lo tanto, el fin primordial de este proyecto es diagnosticar el estado de la infraestructura vial, específicamente en puentes, los cuales, a través de los años, no han recibido durante largos periodos, un mantenimiento adecuado y esencial para el cumplimiento de su función de brindar servicios

Además se proponen las soluciones de reforzamiento y readecuación más factibles y aplicables a los problemas presentados y adecuadas a la realidad económica del país.

Este trabajo está dedicado especialmente a Dios, por darme la luz, guía y fuerza para ser la persona que hoy soy.

A mis padres y hermana, por apoyarme durante estos cinco años de carrera, quienes aún estando lejos siempre fueron parte importante para lograr mis ideales y metas, además de sus múltiples consejos y sacrificios en pos de obtener cada objetivo planteado. Su cariño, cuidados y valores inculcados en estos 22 años de vida, han logrado que me mantenga en el camino del triunfo personal. A mi madre, especialmente, le agradezco ser parte de mi ideología como mujer de superación.

A mis tíos y tías, quienes siempre me mostraron su rotundo orgullo y me apoyaron en cada logro alcanzado, especialmente a mi tía Roxana que continuamente me mostró su enorme cariño y me inculcó la idea de que todo lo que se desea de corazón se puede lograr.

Para las dos personas más increíbles con quienes en estos 5 años de carrera tuve la oportunidad de mantener una enorme amistad, Katherine y Denis, con los cuales compartí risas, tristezas, y significativas experiencias que guardaré por siempre

Cada una de estas personas, siempre estarán en mi mente y corazón.

A cada una de las personas que laboran en la Empresa Illeana Aguilar Ingeniería y Administración S.A., les agradezco por abrirme las puertas, permitiéndome realizar mi práctica profesional en un ambiente grato y lleno de organización, especialmente a la Ing. Illeana Aguilar y el Ing. Didier Rojas, por confiar en mis capacidades y ser ejemplo de profesionalismo y liderazgo.

Igualmente al Ing. Mauricio Carranza, por su guía y recomendaciones en el desarrollo de este proyecto.

Resumen ejecutivo

El presente trabajo está referido al deterioro que sufren los puentes a raíz de la falta de mantenimiento y técnicas de reforzamiento para cada componente, que por algún motivo se han visto afectados por las sobrecargas, fenómenos climáticos, años de servicio y otras causas evidentes en el daño de las estructuras.

Una infraestructura suficiente y en buenas condiciones contribuye significativamente con el desarrollo económico, multiplicando el rendimiento en las inversiones, la competitividad y la riqueza del país. De este modo, el diagnóstico de los puentes es parte importante para incentivar la cultura de mantenimiento que, a través de los años, ha sido dejada de lado.

La Dirección de Puentes del MOPT, junto con otros organismos de inspección, son los responsables de realizar los diferentes inventarios de los puentes en Costa Rica. Cada organismo informa acerca de los eventos más relevantes ocurridos en la zona y al respecto el MOPT genera las posibles soluciones de reforzamiento o readecuación de las estructuras, las cuales deben ajustarse a la realidad económica. Por esta razón, muchas de las soluciones planteadas no son adaptables y no cumplen la función de brindar servicios durante largos periodos, generando así fallas o clausuras constantes en la infraestructura vial, que provocan un retroceso en el desarrollo.

Conforme se realizaron las visitas de campo a cada uno de los puentes, se observaron casos en los cuales la falta de mantenimiento resultó ser una de las consecuencias principales del deterioro de cada estructura. Por lo tanto, los resultados más significativos durante la categorización de los daños, fueron la socavación en los bastiones (local), agrietamiento en las vigas de concreto, corrosión y oxidación en los elementos de acero, rotura de elementos (arriostramiento), filtración de agua a través de

las juntas, eflorescencia, grietas en la losa, desgaste de los elementos de concreto, problemas de las barandas tanto de flexbeam como de concreto.

Con el respectivo estudio de manuales, es posible formular una base de datos en la cual se utilice la categorización de los puentes de la Zona 6-1 San Carlos Este, así como aspectos referentes a gráficos y características de los problemas más frecuentes que se pueden presentar en las estructuras de puentes.

Los métodos de inspección usados en Costa Rica fueron comparados con el manual de inspección realizado en Perú. De forma general, destaca que en el organismo costarricense se necesita incorporar equipos de inspección más adaptables para llevar a cabo la detección de daños en cada elemento, así como inspecciones en los componentes sumergidos (pila), en los cuales, normalmente en la toma de datos, no se accede a verificar su estado, únicamente se realiza el trabajo que está próximo a las habilidades físicas del inspector.

La mayoría de métodos usados son visuales; es decir, se detectan los problemas dependiendo del grado de avance que se presente: Por ejemplo, en el caso de las estructuras de acero, éstas son las más afectadas por la oxidación y corrosión, y dependiendo de la percepción de la alteración causada por el ambiente, así se clasifica la oxidación; si el tratamiento de protección que se le brinda no es el adecuado o, en el peor de los casos, es nulo, entonces la corrosión comienza a provocar reducción en la sección de la pieza de acero. De la misma manera son evaluados todos los demás componentes; en el caso de la losa, ésta debe contar con identificación de daños como lo son: descascaramiento, agujeros y grietas, las cuales, dependiendo de su dirección, ancho y distancia, deben ser inspeccionadas y

almacenadas mediante documentación que permita dar seguimiento, ya que son indicativo de problemas futuros. De ahí la importancia de determinar sus causas, que en la mayoría de los casos se manifiestan debido a los esfuerzos de carga viva y muerta, aplicada por el tránsito de vehículos y el peso propio de la estructura. De la misma forma, son identificadas las razones de la aparición de defectos y sus posibles soluciones, para cada tipo de deterioro, en cada elemento.

Como parte de este trabajo se envió al MOPT el análisis con propuestas de reforzamiento y readecuación a las condiciones existentes en algunas de las estructuras, procurando en ellas, la factibilidad, la economía y el menor tiempo de acción, con el fin de agilizar el proceso de mantenimiento de una forma mucho más eficiente.

Dentro de las propuestas técnicas se ofrecen las confeccionadas para los puentes de la Ruta 140, que abarcan secciones de control de Ciudad Quesada-La Marina y La Marina- Aguas Zarcas, en éstos la socavación, el deterioro de las vigas de concreto y la falta de mantenimiento de los elementos de acero (apoyos, cerchas y vigas), además de las deformaciones en las barandas de protección fueron motivo para efectuar informes de reforzamiento y readecuación.

Con los resultados obtenidos se busca que la empresa cuente con material de apoyo para facilitar las tareas de identificación de daños; además de alimentar el historial de los puentes de la zona, tanto para la empresa como para la Dirección de Puentes del MOPT, con el fin de controlar los casos que requieran de estrategias de conservación vial a corto, mediano o largo plazo.

Como se puede observar, el diagnóstico de las estructuras de puentes es un tema de consideración y al cual es necesario darle seguimiento para evitar la interrupción del flujo de transporte entre las comunidades, ya que la falla de un puente puede afectar seriamente no sólo la comunidad sino al país, debido a los costos de reparación, atrasos en el transporte de mercancías o, en el peor de los casos, la pérdida de vidas humanas.

Introducción

La construcción de estructuras viales (carreteras, puentes, ferrocarriles, entre otros), ha resultado indispensable a través de la historia y alrededor del mundo como aliada en el desarrollo económico y social de cualquier país.

Desde inicios del desarrollo comercial, la red vial de nuestro país ha constituido un factor importante para la expansión de la producción nacional, multiplicando el rendimiento de las inversiones, facilitando así los sistemas de oferta y demanda, además de contribuir con la apertura de mercados y fomentar la competencia. Por esta razón es esencial implementar un sistema de mantenimiento por medio de inspecciones rutinarias o periódicas, dependiendo de la situación de la estructura.

El mantenimiento adecuado de la infraestructura vial no es necesario únicamente para promover el mercado; existen otras razones de igual o mayor importancia, como la seguridad en viajes, mejores y más rápidas comunicaciones, reducción en los costos del transporte, mejor transferencia de información, entre otros.

En el caso de los puentes, estos elementos estructurales son diseñados con el fin de proporcionar, en periodos largos, servicios con gran seguridad al paso de vehículos tanto livianos como de carga pesada, evitando el colapso o falla estructural debida al tránsito pesado y constante.

No obstante, la adecuada función de servicio y estabilidad de un puente no sólo considera los efectos producidos por las cargas cíclicas superiores a las de diseño. De la misma forma, son considerados los fenómenos naturales (terremotos, inundaciones, cambios climáticos, entre otros), edad, defectos de construcción y mantenimiento inadecuado, los cuales forman parte de los factores que actúan sobre la subestructura y superestructura de un puente. Éstas son circunstancias adicionales que propician la vulnerabilidad de los elementos y

consecuentemente producto de impactos considerables que afectan a la población.

La condición de nuestros puentes ha sido materia desconocida por muchos años, debido a la falta de técnicas de mantenimiento capaces de identificar el deterioro sufrido por las estructuras.

Los puentes son estructuras que influyen en la continuidad del servicio de transporte, ya que gracias a ellos se recorre de forma permanente y segura el trayecto, procurando favorecer el funcionamiento del sistema vial.

Mediante nuevas técnicas, impulsadas por los organismos encargados de velar por las condiciones óptimas de los puentes y carreteras, se está trabajando en nuevas medidas para mejorar los niveles de servicio y de seguridad.

Instrumentos como las inspecciones sirven para brindar orientación y dar a conocer el estado actual de las estructuras. Una inspección es una actividad compleja, en la cual mediante la organización de procedimientos y la aplicación de una base de datos actualizada de cada puente, se permite contar con la respectiva ubicación, año de construcción, tipo de estructura, historial de daños o reparaciones y dimensiones, con los cuales sea posible minimizar el deterioro constante y así evitar algunas deficiencias que pueden llegar a convertirse en daños severos o irreparables.

El desarrollo de este proyecto está enfocado a realizar un diagnóstico con los problemas sufridos en los puentes de la zona San Carlos Este, señalando algunas deficiencias y planteando su reforzamiento y readecuación para evitar daños a futuro.

Los puentes son una porción pequeña de toda la red vial y, por ende, son los componentes más vulnerables, de ahí la importancia de llevar a cabo una categorización de los daños en los puentes de la Zona 6-1, San Carlos Este.

Por tales motivos, surge el interés por parte de la empresa Illeana Aguilar Ingeniería y

Administración S.A de plantear los siguientes objetivos, en la práctica profesional dirigida:

Objetivo General

Diagnosticar el estado de deterioro de los puentes en la Zona 6-1 San Carlos Este, con el fin de complementar el proceso de inspección y rehabilitación de las estructuras asignadas.

Objetivos Específicos

1. Estudiar las normativas existentes en el ámbito internacional para la valoración de deterioro en puentes.
2. Valorar el grado de daño y deterioro que alcanzan los puentes a la fecha, con el fin de obtener conocimiento práctico de los posibles daños y causas de éstos en los puentes de la red vial nacional.
3. Diseñar una base de datos con información obtenida en campo
4. Clasificar los puentes analizados dependiendo del tipo de estructura, grado y naturaleza del daño.
5. Proponer las acciones a seguir para el posible reforzamiento o readecuación de los puentes analizados.

Marco Teórico

Los *puentes* son estructuras construidas sobre obstrucciones o depresiones (ya sean naturales o artificiales), diseñados con la función de conectar comunidades y ser capaces de soportar el paso de vehículos de carga pesada. La luz media a lo largo del centro de la carretera de dicha infraestructura vial debe ser igual o mayor a 6 metros entre las paredes internas de sus bastiones o arcos.

Otros tipos de estructuras que funcionan como paso vial (peatones y vehículos), además de los puentes, son los pasos a desnivel y alcantarillas. En el caso de los primeros, se construyen para cruzar una vía existente; pueden dividirse dependiendo de la condición que se presenta: si es un paso sobre una carretera se denomina *paso superior*, de forma contraria se tiene el *paso inferior*. Las alcantarillas presentan un piso revestido y requieren de cabezales, aletones y delantales para garantizar su funcionamiento.

Algunos de los componentes que constituyen la estructura de un puente son:

- Superestructura: compuesta por los elementos principales, secundarios y el piso del puente.
 - *Sistema de piso*: por medio de éste se da el tránsito vehicular. La losa puede ser de concreto, acero o madera, ya que mediante este componente se da la transferencia de carga hacia los demás elementos.
 - *Elementos secundarios*: distribuyen las cargas y proporcionan mayor rigidez lateral y torsional, evitando que los elementos principales se deformen. A ellos pertenecen las vigas diafragmas, sistemas de arriostramiento, otros.
 - *Elementos principales*: soportan las cargas que se transfieren a ellos, además se encargan de transmitir estos esfuerzos a la subestructura por medio de los apoyos. Se tienen elementos como las vigas (I, T, cajón), cerchas (paso

inferior, paso superior, de mediana altura) y arco (paso inferior y paso superior).

- Subestructura: Es constituido por:
 - *Apoyos*: son los encargados de transferir las cargas verticales y garantizar los grados de libertad del diseño de la estructura. El tipo de apoyo del puente depende del uso y funcionalidad, así como de su tamaño. Entre los tipos de apoyos tenemos:
 - *Apoyo de expansión*: permite la rotación y traslación en sentido longitudinal. Puede ser tipo patín o tipo rodillo.





Figuras 1 y 2. Apoyo expansivo tipo patín y rodillo, respectivamente. (Fuente: Manual de Inspección de Puentes, 2007).

- Apoyo fijo: permite la rotación y se encarga de restringir la traslación.



Figura 3. Apoyo fijo. (Fuente: Manual de Inspección de Puentes, 2007)

-Apoyo rígido o empotrado: No permite ningún tipo de movimiento.



Figura 4. Apoyo rígido. (Fuente: Manual de Inspección de Puentes, 2007)

• **Bastiones:** funcionan como apoyo para los elementos de la superestructura, además de cumplir función de absorción ante los empujes del terreno. Están compuestos por:

-Aletones: confinan el material de rellenos detrás del bastión.

-Viga Cabezal: parte superior del bastión donde el extremo de las vigas principales es apoyado.

-Cuerpo principal: este componente puede ser tipo pared con o sin contrafuertes o un marco rígido, con columnas unidas por medio de la viga cabezal.

- Fundación: es la base del cuerpo principal del bastión y, dependiendo de la transmisión de cargas, se clasifican en superficiales y profundas.

Los bastiones se categorizan dependiendo de la función que cumplan, además de la capacidad admisible del suelo, entre otros. A continuación se presentará la clasificación:

❖ Tipo gravedad: es capaz de resistir las fuerzas de empuje ejercidas por el suelo y las presiones laterales, ya que, al ser bastiones construidos normalmente en concreto ciclópeo, son pesados y resistentes a los esfuerzos aplicados.

❖ Tipo Voladizo: al estar unido de forma rígida a la fundación, transmite la presión lateral al suelo. Este muro de retención (tipo pared) a través del propio peso y el del suelo sobre la fundación mantiene la estabilidad del bastión.

❖ Tipo Marco: está formado por una viga cabezal (rectangular o T) unida por medio de dos o más columnas.

❖ Tipo Muro Contrafuerte: es utilizado en la mayoría de los casos cuando el muro debe ser de gran altura.

❖ Tipo Muro con Contrafuerte: se compone de losas perpendiculares al plano del muro (contrafuertes), las cuales se encargan de unir el muro y la fundación. Estos contrafuertes son espaciados a lo largo de la fundación.

❖ Cabezal sobre pilotes: no posee cuerpo principal, por lo que está constituido por uno o más pilotes, en los cuales se apoya la viga cabezal.

• *Pilas*: son apoyos intermedios entre los elementos de la superestructura. Igualmente cuenta con componentes como:

-Viga cabezal: en esta descansan los tramos de superestructura (extremo inicial y final), en donde se ubican los pedestales y sobre éstos se colocan los apoyos de las vigas principales.

-Cuerpo principal: puede ser una columna, dos o más columnas (columnas múltiples), pared o grupo de pilotes. Sobre este componente es apoyada la viga cabezal.

-Fundación: es la base del cuerpo principal y se encarga de transmitir las cargas de la subestructura al suelo.

Los tipos de pila varían dependiendo de su forma, tamaño y configuración. Entre las pilas usadas en las estructuras de puentes tenemos:

❖ Tipo Muro: pared extendida desde la fundación hasta la viga cabezal, en donde descansa la superestructura.

❖ Tipo Marco: se compone de dos columnas (circulares o rectangulares), en las cuales se apoya la viga cabezal.

❖ Tipo Columna Sencilla: constituido por una viga cabezal en forma de martillo que se une a una columna que puede ser circular, elíptica, rectangular.

❖ Tipo Columna Múltiple: la constituyen tres o más columnas, en las que es soportada una viga cabezal.

• Accesorios: forman parte del funcionamiento adecuado del puente. Entre los elementos que componen los accesorios están:

○ *Barandas*: este sistema es fijado al piso de forma longitudinal para evitar la caída de peatones, vehículos, entre otros.

○ *Superficie de ruedo*: es una capa de desgaste (puede ser de asfalto o concreto) colocada sobre el sistema de piso, el cual se encarga de protegerlo de la rozadura provocada por el tránsito de vehículos.

○ *Juntas de expansión*: se instalan en los extremos de las superestructuras. Son elementos encargados de dividir la losa, además de permitir la traslación-rotación, para que de esta forma la superestructura, ante la presencia de temperaturas y sismo, garantice la contracción y expansión. Éstas generalmente se dividen en juntas abiertas y juntas selladas.

❖ Juntas abiertas: cuentan con angulares o perfiles de acero para prevenir el desprendimiento de concreto en los bordes externos. Estas juntas normalmente se ubican entre losa-losa, losa-bastión, losa-losa de aproximación.

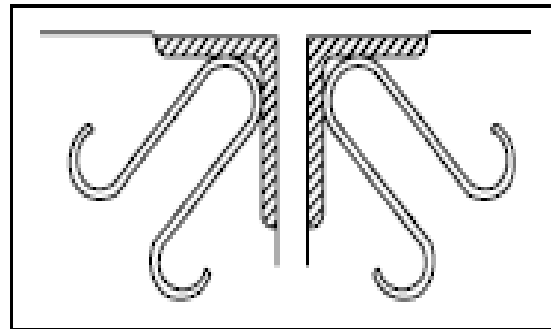


Figura 5. Junta abierta. (Fuente: Manual de Inspección de Puentes, 2007)

❖ Juntas selladas, pueden ser:

- Juntas rellenas: se utilizan generalmente cuando sus desplazamientos son inferiores a 1½ pulgadas. Estas juntas tienen una banda de hule preformado (tapajunta de goma), la cual se encarga de garantizar el relleno premoldeado que es sellado con hule chorreado.

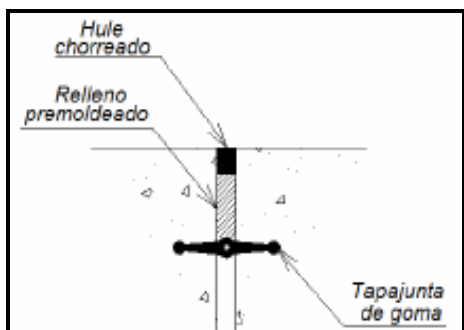


Figura 6. Junta rellena. (Fuente: Manual de Inspección de puentes, 2007)

- Juntas de placas de acero deslizante: cuentan con una placa de acero anclada a un extremo; no obstante, ésta permite el movimiento de la superestructura, a través de su deslizamiento.

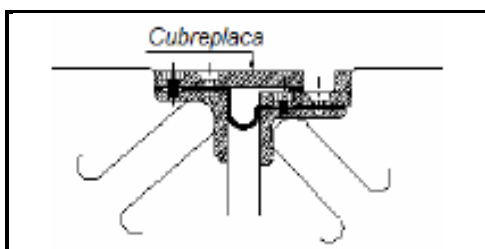


Figura 7. Junta de placa de acero deslizante. (Fuente: Manual de Inspección de puentes, 2007)

- Juntas de placas dentadas: compuestas por placas de acero en forma de dientes que permiten el movimiento, ya que se entrelazan dejando un área libre entre ellas. Además, como impermeabilizante, debajo de las placas se coloca material elastomérico.

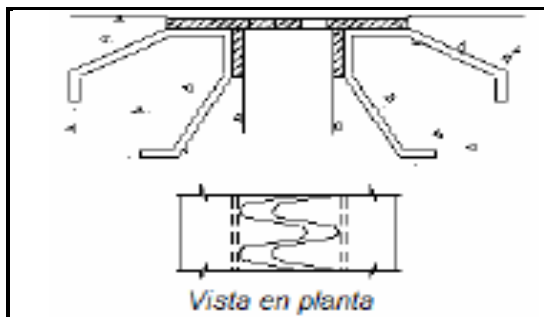


Figura 8. Junta de placa dentada. (Fuente: Manual de Inspección de puentes, 2007)

Con cada una de las descripciones señaladas, es posible identificar los elementos presentes en los puentes y de esta forma comprender cada uno de los términos utilizados durante el desarrollo del proyecto.¹

Descripción de los problemas generales

Entre los problemas más comunes encontrados en las estructuras de los puentes y que afectan el comportamiento de los elementos en un conjunto se tienen:

Socavación

La socavación total se compone de la suma de la socavación local, socavación por contracción del cauce y socavación general.

Es un fenómeno natural causado por la acción erosiva del agua, que arranca y acarrea material del lecho y de las bancas de un río y es una de las principales causas de falla de los puentes, especialmente durante épocas de creciente. La socavación en puentes ocurre en las pilas, en los estribos, en los terraplenes de acceso, o en las laderas del río y puede llegar a poner en peligro la estructura.

Grietas

Las grietas en los elementos de concreto se categorizan en grietas estructurales y no estructurales. Las primeras requieren de atención inmediata, ya que pueden afectar la capacidad del puente. En el caso de las grietas no estructurales, éstas son causadas por expansión térmica y contracción de fragua; en losas debe tenerse especial cuidado, puesto que el agua de infiltración de lluvia puede conllevar a la corrosión de la armadura.

¹ Fuente: Manual de Inspección de Puentes, 2007. (ver referencia 2)

Descascaramiento del concreto

El descascaramiento es la delaminación local o desprendimiento de una superficie determinada de concreto endurecido provocados por cambios de temperatura, deficiencias en el curado o algún daño en el acero de refuerzo.

Nidos de piedra

Generalmente la vibración inapropiada durante el colado del concreto ocasiona los nidos de piedra, en los cuales se produce la segregación² de los agregados gruesos, de los agregados finos y la pasta de cemento

Eflorescencia

La infiltración de agua produce el lavado de los componentes alcalinos del cemento (principalmente hidróxido de calcio), fenómeno denominado lixiviación o eflorescencia. Ésta se manifiesta visualmente a través de manchas blancas en la superficie del concreto, por lo que éste (elemento) va tornándose ácido y deja de proteger a las armaduras, comenzando, por el contrario, a atacarlas.

Acero de Refuerzo Expuesto

La exposición del acero se presenta en la mayoría de los elementos de concreto, en los cuales se desprende el recubrimiento, lo que ocasiona los problemas de corrosión y oxidación en el refuerzo longitudinal y transversal.

Oxidación

Se presenta normalmente en los elementos de acero, en los cuales, debido a los cambios climáticos, lluvia, humedad, entre otros, se produce una reacción química en el acero, en la cual se forma una capa de color rojizo-café en la superficie del elemento.

² Separación de partículas granulares de diferentes tamaños.

Corrosión

Igualmente, este deterioro se encuentra en los elementos de acero, en donde la alteración causada por el ambiente en el elemento empieza como oxidación y si no se da algún tratamiento o se brinda alguna protección al elemento se llega a dar la corrosión, lo que produce la reducción de la sección de la pieza de acero.

Deformación en los elementos de acero y pérdida de pernos

Las causas principales de la deformación en los elementos de acero son la sobrecarga, la colisión de vehículos y el hundimiento de subestructuras.

Por otro lado, los miembros de acero están conectados por soldadura, pernos y remaches. La fatiga puede causar pérdida de pernos o remaches.

Manuales Consultados

Costa Rica

En Costa Rica, el Sistema de Administración de Puentes se ha implementado desde 1988, con el fin de lograr la actualización en inventarios de puentes, así como el de crear un instrumento con contenidos técnicos, identificaciones para el grado de los daños y planteamientos para el mantenimiento de las estructuras.

Actualmente, el Manual de Inspección de Puentes vigente es el de 2007, del cual los inspectores encargados de realizar los inventarios deben conocer cada uno de los procesos llevados a cabo para efectuar la identificación de daños, es decir el documento constituye una guía de procedimiento, definiciones y actividades requeridas para el óptimo funcionamiento de cada inspección y, en forma general, el sistema de administración.

Cada inspección debe estar dirigida por un inspector calificado e identificado con el programa, el cual se encarga de recopilar la información necesaria para programar el mantenimiento oportuno, ya que una evaluación completa y precisa mantiene en servicio la red vial.

Igualmente, una de las funciones más importantes que el profesional a cargo de la inspección debe cumplir es informar la condición estructural y de seguridad del puente, reconociendo los distintos trabajos de reparación, adaptables a los costos de reemplazo y, mucho más importante, al mantenimiento de la seguridad para los usuarios que transitan la vía.

Por otro lado, el establecimiento y mantenimiento del historial en las estructuras es parte esencial para la identificación y evaluación del mantenimiento y reparación de cada puente. Como inspector responsable, inicialmente se debe planificar y organizar la secuencia de las inspecciones con su respectivo horario y revisar los archivos del puente con el fin de identificar cada componente de la superestructura y subestructura.

Al inventario de puentes estrictamente se le deben incluir generalidades como: el dimensionamiento del puente, la inspección visual y toma de fotografías. Cada informe debe constituir una herramienta administrativa que contenga todos los datos recopilados como el tránsito promedio diario, tipo de ruta, longitud de desvío (en caso de cierre temporal), además los informes deben contener la deficiencia estructural, priorización de reparación y estimación del costo bruto en la reparación de los puentes.

Normalmente la evaluación de cada puente se lleva a cabo por formularios (ver **Anexo 1**), los cuales presentan una categorización de daños dependiendo del grado de afectación que sufren. Para realizar la clasificación se tiene una escala de 1 a 5 (de Nulo-Leve a Grave), en donde se les asigna el número objetivamente y no por criterios personales u opiniones. Esta asignación debe ser consistente entre inspectores, es decir debe ser la misma calificación, ya que el grado de deterioro es la medida del daño o deterioro y no es una medida de deficiencia de diseño. la misma deficiencia estructural del elemento.

Cada una de las descripciones, se encuentran presentes en el Manual de Inspección

de Puentes, el cual debe ser parte de la capacitación de cada inspector, para lograr un exitoso informe, ya que toda información debe ser comprendida completamente por cada persona involucrada con la información a recopilar.³

Perú

De acuerdo con la geografía de Perú, la necesidad de las carreteras y puentes es un tema de importancia y cuidado, ya que como bien se comentó anteriormente, este es trascendental para el desarrollo de cualquier nación.

En el caso de dicho país, gran cantidad de su población se ubica en zonas rurales, en las cuales el adecuado mantenimiento de su infraestructura vial es capaz de permitir la integración e interconexión entre los diferentes sectores de la nación.

Los puentes en Perú, al igual que en otros países, cuentan con estructuras de gran antigüedad, en las cuales el principal problema no recae sobre la edad del puente, sino sobre la falta de mantenimiento, lo que implica que la estabilidad y capacidad de la infraestructura presente niveles de incertidumbre en cuanto a la seguridad de los usuarios. No obstante, existen aspectos que para los peruanos son considerables en el deterioro o daño de la infraestructura vial como lo son: fenómenos climáticos, influencia de la naturaleza y la sobre carga.

Como alternativa a un mejor instrumento de control y orientación, resultó importante para el gobierno peruano contar con una guía de inspección de puentes, controlando de este modo cada uno de los componentes, manteniendo de forma eficiente y segura la transitabilidad.

En los manuales peruanos, es necesario realizar recopilación de información como la historia del puente, expedientes técnicos e inspecciones previas, con el objetivo de tener una visión general de las posibles deficiencias presentes y de este modo recomendar acciones de corrección.

El Manual de Inspección de Puentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú, destaca aspectos tales como:

³ Fuente: Manual de Inspección de Puentes, 2007. (ver referencia 2)

las frecuencias de las inspecciones, herramientas necesarias para ejecutar las actividades, habilidades y procedimientos llevadas a cabo por el inspector.

Las evaluaciones de los puentes se consideran necesarias de aplicar al menos una vez al año, siendo esta una evaluación visual y física, utilizando técnicas avanzadas, para la inspección específica de concreto, madera y acero. Respecto a los componentes sumergidos es necesario inspeccionar al menos cada tres años con personal capacitado, generalmente es recomendable realizar este tipo de inspecciones para observar los indicios de socavación, cuando los niveles del agua han bajado (conclusión de la temporada de invierno).

En los procedimientos de inspección es necesario realizar tanto el procedimiento sistemático, que se basa en la inspección rutinaria, como la documentación de información de las estructuras. El primer caso es esencial para conocer el deterioro de los puentes, por otro lado, la documentación es una forma de tomar medidas preventivas para determinar el tipo de mantenimiento y dar recomendaciones prácticas para corregir deficiencias.

La guía de inspección de puentes de Perú se divide obedeciendo a las acciones para detectar los daños más comunes, esto dependiendo del tipo de material presente en la estructura, ya sea acero, concreto y madera.

Seguidamente se presentará una reseña de los daños más comunes a detectar y como se debe llevar a cabo el procedimiento de inspección según sea el material presentado en las estructuras:

- **Acero:** Los componentes de acero son los más afectados por la corrosión y oxidación, además se presentan daños producto de sobreesfuerzos, colisión y agrietamiento. En la última situación de deterioro es normal encontrarlo en los extremos (cerca de apoyos o final de la soldadura) o en las conexiones.

Es característico que debido a la repetición de cargas, los elementos de acero sufran agrietamiento por fatiga, es de esta forma que durante la inspección es importante examinar visualmente, en el caso de la estructura de acero pintadas, identificar si hay una rotura en la pintura acompañada por manchas de oxidación que sean señal de una grieta por fatiga.

Para verificar el grado y la extensión de las grietas, se pueden utilizar tintes penetrantes. En

el caso de daños provocados por colisión vehicular, incluidas las pérdidas de sección, agrietamiento y distorsión de formas, deben de ser consideradas en las observaciones de la inspección, con el objetivo de repararlas, para ello es necesario realizar restricciones de carga, evitando el sobreesfuerzo de los elementos.

- **Concreto:** En los componentes constituidos por este tipo de material, se tienen problemas como: el descascaramiento, agrietamiento, desgaste o abrasión, afloramiento, delaminación, daños de colisión y sobrecarga.

Las grietas son los problemas más usuales en la detección visual, pueden categorizarse dependiendo del ancho que presente la grieta: fina, media o ancha. El primer caso no afecta la capacidad de la estructura, sin embargo es necesario realizar un reporte y con ello inspecciones rutinarias para verificar el avance de la grieta. Respecto a las dos últimas, éstas sí deben de ser monitoreadas y registradas, ya que afectan la capacidad estructural, además de medir su longitud, dirección, localización y extensión.

Por otro lado, entre los deterioros primarios detectados en la inspección están las manchas de de oxido, las cuales son señales evidentes en los miembros de concreto producto de la corrosión y oxidación en el refuerzo de acero.

Para las detecciones físicas se utiliza el sondeo con martillo y cadena arrastrada, en los casos señalados se permite detectar áreas de concreto hueco y delaminación, en las superficies grandes, el usar las cadenas permite valorar la integridad del elemento.

- **Madera:** Generalmente sus deterioros son causados por hongos, humedad, parásitos y ataque químico, por otro lado el fuego, impactos o colisiones, abrasión o desgaste mecánico, sobreesfuerzos, intemperie y flexiones.

Los estudios realizados en este caso, pueden ser de forma visual o física, la primera es una forma de detectar la excesiva deflexión, grietas, vibraciones, pérdida de conexiones, pudrición por hongos o humedad. En la segunda situación se pueden utilizar técnicas destructivas y no destructivas, tales pruebas pueden ser el punzón de prueba, perforaciones, pruebas avanzadas para madera (prueba de velocidad de pulso sónico, medidores manuales de humedad),

entre otros. Cada uno de estos equipos necesita de un personal capacitado

Con el estudio del documento peruano, fue posible conocer la importancia que le da el Ministerio de Transportes al estudio de los puentes en ese país.⁴

⁴ Fuente: Guía para Inspección de Puentes, 2006.
(ver referencia 3)

Metodología

Para el desarrollo de la práctica profesional dirigida, inicialmente se realizó un estudio de los manuales existentes sobre evaluación de puentes, tanto a nivel nacional como internacional.

Con esto se pretendió tener una noción más amplia de los métodos, no usados sólo en Costa Rica, sino en países en vías de desarrollo como Perú. Con estas comparaciones se logró considerar situaciones técnico-económicas con las que cuenta cada país y, de esa forma, enfocar sus procedimientos de acuerdo con la experiencia y las mejoras llevadas a cabo en el ámbito local.

El estudio general de las metodologías de los países ya mencionados, permitió la identificación de similitudes y diferencias de las actividades de inspección y administración de puentes realizadas a nivel nacional, con respecto a las actividades internacionales, creando además observaciones positivas y negativas de los aspectos investigados.

El “Manual de Inspección para Puentes” se utilizó como guía para el diagnóstico del deterioro de puentes y funcionó como base para cuantificar, cualificar y valorar el daño de cada una de las estructuras que componen la infraestructura vial.

Al enfocar el estudio de los puentes en el sector nacional, se pretende abarcar un nivel más amplio de los diferentes problemas y situaciones presentadas en las estructuras, las cuales, en muchos casos, son obstáculos para el óptimo funcionamiento de la red vial.

Con el estudio del “Manual de Inspección para Puentes” desarrollado por el Sistema de Administración de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), se llevaron a cabo inventarios de dichas estructuras, organizando las labores de inspección por zonas de trabajo.

En el caso de este proyecto se estudiaron los puentes de la Zona 6-1 San Carlos Este, efectuando su diagnóstico mediante visitas de campo.

Se recorrieron diversas rutas de la zona divididas por secciones de control, en las cuales el inspector cumplía con obligaciones de planeamiento anticipado, coordinación y ejecución de la inspección para, finalmente realizar un informe, donde eran señaladas las debilidades de cada puente visitado.

Para llevar a cabo el diagnóstico de cada uno de los puentes, se utilizaron hojas de inventario (**Anexo 1**), proporcionadas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, en las cuales se categorizó el daño de cada uno de los elementos de las estructuras en una escala de grado de deterioro de 1 a 5 (de bueno a malo); por lo que, dependiendo de las características que se presentaron, se estableció la situación de inmediatez (a corto, mediano o largo plazo), para realizar trabajos de reforzamiento o readecuación y mejora de las condiciones de servicio de las estructuras.

Las visitas de campo realizadas fueron métodos prácticos, con los cuales se pudo obtener la información real del daño en cada estructura vial. El recorrido abarcó zonas de control como lo fueron Ciudad Quesada, Aguas Zarcas, Pital, Venecia, Puerto Viejo de Sarapiquí, entre otros.

Con cada uno de los inventarios realizados fue posible identificar los principales problemas que mantienen dañadas las estructuras de la Zona 6-1, San Carlos Este y, de este modo, cuantificar el número de problemas y estructuras a quienes resulta necesario prestar atención y ejecutar procedimientos de trabajo como inspecciones rutinarias o especiales. En el caso de las últimas, se refiere a visitas por parte de los ingenieros del MOPT y de la Administración encargada de la inspección, para analizar a mayor profundidad el deterioro e implicaciones de éste sobre la estructura.

Como visitas de campo se tienen las realizadas a los puentes sobre el Río Chirripó, Río Brazo del Sucio Río San José, Río Isla Grande, Río Tigre y Río Sarapiquí, ubicados en la Ruta 4. Para los tres primeros, la sección de control 40521 abarca desde el Río Chirripó hasta Las Vueltas de Horquetas y para los puentes restantes la sección 40522 comprende Las Vueltas de Horquetas a Puerto Viejo de Sarapiquí. En el caso del recorrido realizado, estas inspecciones fueron periódicas, con el fin de darle continuidad a los daños presentes en los puentes y de esta manera observar su grado de avance. En el recorrido expuesto en el **Anexo 3** se observa la localización de las infraestructuras viales mencionadas.

Por otro lado, se evaluaron las condiciones que presentaban los puentes de las Rutas 141 y 140. En estos casos se analizaron puentes como: Río Peje y Río La Vieja, ambos en la ruta 141. En la ruta 140 se diagnosticaron puentes sobre ríos como: Río Ceiba, Río San Rafael, Río Leones, Río Marín, Ríos Zapotal, Río Zapotal, Río Sardinal, Río Platanar, Río Aguas Zarcas, Río Guayabo, Río Caño Grande, Río Toro, Quebrada del Palo, Río Cuarto, Río Tercero, Río Hule y Quebrada Florida. La localización de cada uno de éstos se presenta más detalladamente en el **Anexo 4 y 5**.

Finalmente se tienen puentes sobre rutas como la 229, 505, 250 y 126, respectivamente serían estructuras del Río San José, Quebrada Grande, Río Tres Amigos y, en la última ruta, los puentes sobre el Río Cariblanco y Río María Aguilar. Igualmente se adjunta en los **Anexos 3, 6, 7 y 8** información referente a la localización de los puentes, para facilitar la interpretación de la información brindada en los siguientes apartados.

Con la ayuda de los datos recopilados en campo, fue posible conocer el tipo de material de cada una de las estructuras (concreto, acero, madera), así como los accesorios, tipos de superestructuras y subestructuras destacando las secciones, dimensiones, para finalmente determinar el deterioro de cada elemento.

La realización de las visitas de campo resultaron ser parte importante para el desarrollo del diagnóstico de los puentes de la zona, ya que conforme se realizaban las giras, se identificaban los problemas más comunes y más críticos, los cuales se escogieron para realizar técnicas de reforzamiento y readecuación.

Por otro lado, los datos obtenidos en las giras y con información de la cantidad de puentes recopilada en años anteriores por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, se logró actualizar la base de datos de la empresa, procurando conocer la cantidad de puentes que se encuentran en rutas de asfalto o lastre, los cuales han sido inventariados o no inventariados en las rutas de asfalto hasta la fecha (agosto 2009), categorizar los puentes, dependiendo de su longitud (de 0-10m, 10-20m, entre otros) y, finalmente, destacar los problemas presentes en las estructuras, como por ejemplo, aquellos con problemas de socavación, corrosión, entre otros.

Mediante la recopilación de datos realizada inicialmente, se presentaron informes mensuales de avance al Consejo Nacional de Vialidad, dando a conocer la cantidad de puentes inspeccionados con sus respectivas descripciones y daños. No obstante, el propósito del trabajo no incluye únicamente señalar los daños, como se acostumbra, sino también diagnosticar detalladamente y proponer las soluciones acordes con las condiciones del país. Esto debido a que en lo que respecta al sector técnico-económico hay muchas formas de reforzar las estructuras para aumentar su servicio y estabilidad. Estas acciones preventivas deben ser accesibles al presupuesto nacional, para así formar parte de los nuevos métodos de reforzamiento y readecuación.

A pesar de la gran variedad de métodos que se pueden realizar para mitigar el deterioro y aumentar la capacidad de la infraestructura, es importante señalar que algunas de las técnicas no están consideradas dentro de los procedimientos a realizar, ya que el elevado costo de su ejecución no permite contemplarlos.

Es de gran importancia para el desarrollo de todo el país dar seguimiento a este tipo de actividades de inspección, ya que por medio de ellas se determina la verdadera condición de los puentes. Sin embargo, este estudio está dirigido solamente a la detección de daños, de este modo el objetivo principal del trabajo está en presentar al MOPT y al CONAVI, por parte de la Administración de la Empresa las soluciones a los problemas detectados.

Para dar seguimiento a cada programa de reforzamiento y readecuación planteado, se comentó cada uno de los problemas encontrados con el ingeniero responsable de las inspecciones, así como con la ingeniera responsable

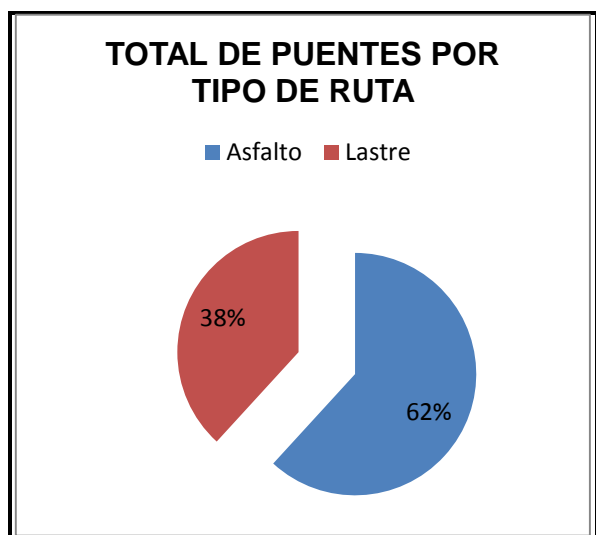
propiamente de la Administración, para de este modo dar aprobación a las recomendaciones del trabajo.

Además, con investigaciones bibliográficas y consultas técnicas, fue posible analizar el grado de afectación que tenía cada elemento.

Resultados

En esta sección se presentarán los resultados generales de los procesos de diagnóstico de cada puente inventariado, así como fotografías que den cuenta objetiva del deterioro de sus elementos así como de los problemas identificados mediante las visitas de campo.

En la Zona 6-1, San Carlos Este, existen 89 puentes, de los cuales la gran mayoría se encuentra ubicada en rutas de asfalto y un pequeño porcentaje en lastre. En la siguiente figura se representa lo descrito anteriormente:



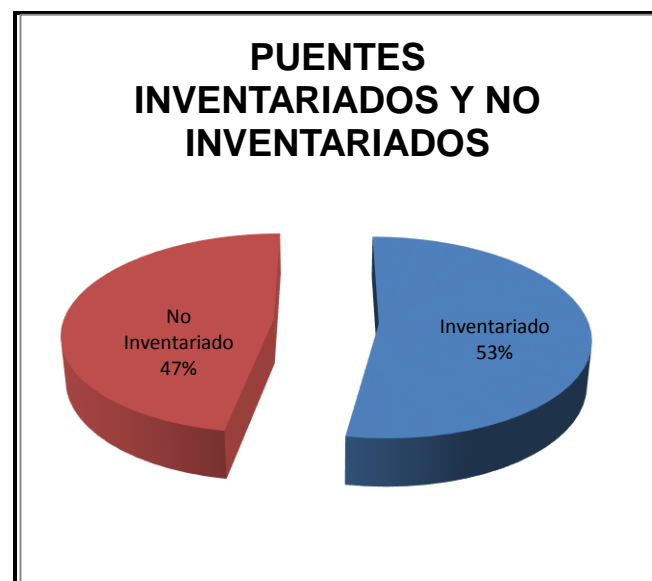
EXCEL 2007
Figura9. Porcentaje del total de puentes por tipo de ruta.

No obstante, para el análisis de las estructuras, únicamente se determinaron los daños de los puentes situados en las rutas de asfalto y la empresa deja pendientes, para el 2010, las inspecciones en rutas de lastre.

De esta manera, se interrumpieron las actividades de inspección para el diagnóstico del deterioro de puentes, por motivos representativos para el desarrollo del proyecto, ya que de esta forma se personifica el número

total de puentes inventariados hasta setiembre 2009.

Del 62% (55 puentes) señalado en la figura 9, se mencionará seguidamente el porcentaje de estructuras que han sido inspeccionadas e incluidas en los informes de control por parte de la Administración de la empresa, por quien este mismo informe de visitas realizadas es enviado al MOPT para ser chequeado por la Dirección de Puentes de este organismo.



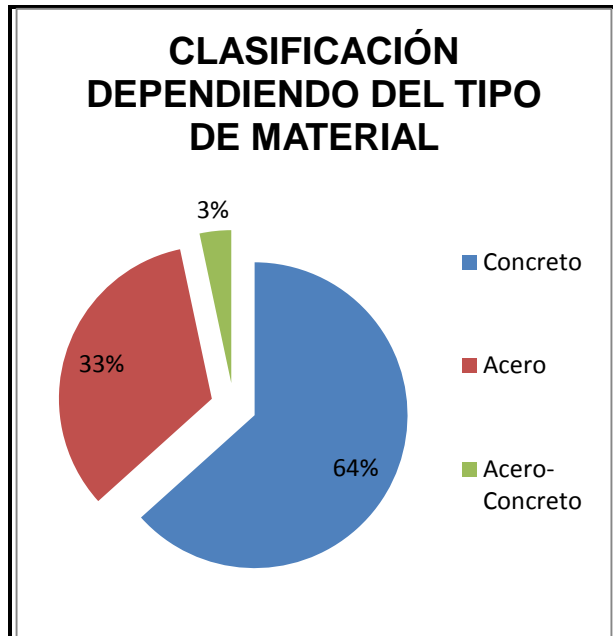
EXCEL 2007
Figura10. Porcentaje representativo de la porción de puentes inspeccionados a la fecha de setiembre 2009.

Por otro lado, mediante las inspecciones efectuadas a la Zona 6-1, las estructuras se categorizaron dependiendo del tipo de material de construcción y la longitud del mismo.

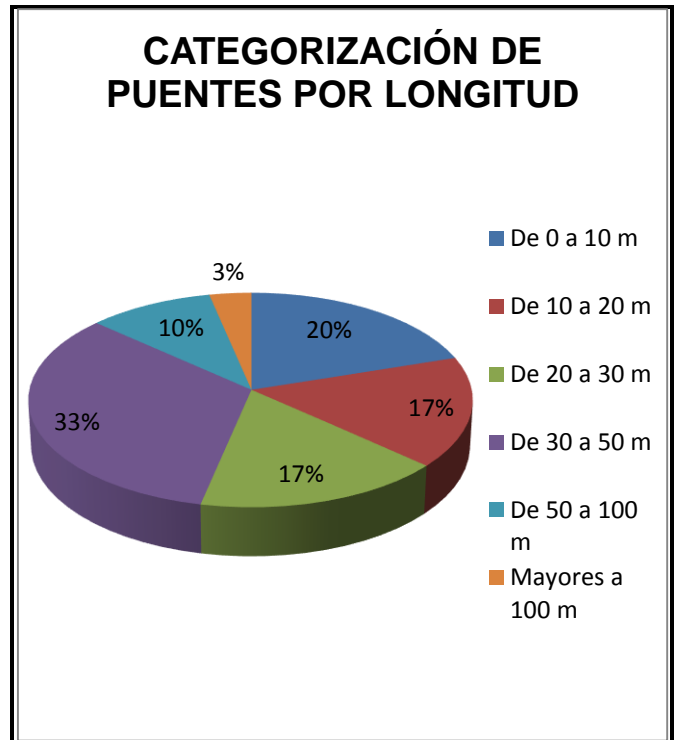
Producto de las visitas de campo se diagnosticó un total de 30 puentes, clasificados en 20 de concreto, 9 de acero y 1 en combinación de ambos materiales. Hasta la fecha no se realizó

inspección de estructuras de madera, no obstante en la zona se cuenta con este tipo de material, especialmente en las rutas de lastre. En algunos casos, debido a problemas estructurales o por fenómenos naturales (intensas lluvias), los puentes fueron destruidos y sustituidos por estructuras temporales tipo "Bailey", a pesar de esto, en las rutas visitadas no se presentó ninguno de estos tipos.

En el caso de las longitudes de las estructuras, se lograron conocer y actualizar los datos de las dimensiones de cada uno de los puentes de la zona. A continuación se presentan gráficamente las distribuciones porcentuales para los casos mencionados, considerados a través de las giras de inspección.



EXCEL2007
Figura11. Categorización de las estructuras dependiendo del tipo de material.



EXCEL2007
Figura12. Categorización de las estructuras dependiendo de la longitud del puente en rutas de asfalto.

Daños presentes en los puentes de la Zona 6-1, San Carlos Este

Las visitas de campo a los diferentes puentes, además de facilitar la obtención de los datos estadísticos, posibilitaron el diagnóstico de los daños, que en la mayoría de los casos son parte importante del desgaste de cada elemento.

Los daños identificados durante las giras de inspección a las diferentes infraestructuras se representarán mediante fotografías. Además es importante señalar que en la sección de Anexos se encuentra una tabla resumen, en la cual se especificarán cada una de las rutas con algunas características propias de los puentes, así como los daños encontrados en los mismos. (Ver Anexo 9)

Ruta 140

En esta ruta se encuentran los puentes sobre Río Ceiba, Río San Rafael, Río Leones, Río Marín, Río Zapotal, Río Sardinal, Río Platanar, Río Aguas Zarcas, Río Guayabo, Río Caño Grande, Río Toro, Río Cuarto, Río Tercero, Río Hule Quebrada del Palo y, finalmente, el puente sobre Quebrada La Florida.

Cada uno de estos puentes recibió al menos una visita de inspección, dependiendo principalmente del grado de deterioro que presentaran los elementos que lo conforman. Por esta razón se describirán las características de cada uno de los puentes, además de ilustrar mediante fotografías los daños más representativos del deterioro en las estructuras.

Río Ceiba: se trata de un puente de concreto ubicado en la sección de control La Marina-Aguas Zarcas. Fue diseñado con una carga viva de un camión de dos ejes y restricción de carga superior a las 13 toneladas⁵. La longitud total es de 8,20 m y un ancho total 7,45 m. La superestructura se encuentra conformada por cinco vigas de concreto con sección tipo "T" y peralte de 60cm. La losa de concreto es de 0,15m de espesor y sus juntas se encuentran obstruidas debido a la sobrecapa (carpeta asfáltica) de 50mm, por esta razón no se pudo identificar su tipo.

La subestructura se encuentra compuesta por dos bastiones de concreto tipo gravedad y apoyos fijos en ambos extremos.

Este puente ha sido reportado en varias ocasiones por problemas en los bastiones, además de este daño, mediante la inspección inicial se detectaron problemas en las vigas principales de concreto, lo que compromete el nivel de servicio y funcionalidad de la vía.

Mediante visitas a campo se encontraron los siguientes problemas en los elementos:

⁵ Información brindada por la Empresa Ileana Aguilar Ingeniería y Administración.



Figura13. Vista panorámica de Puente sobre Río Ceiba



Figura 14. Vista lateral del puente sobre el Río Ceiba.

Los problemas en las barandas de concreto son tema característico de los puentes en la ruta 140. En la figura 15 se representa claramente el grado de deterioro que tienen estos elementos de protección.



Figura15. Barandas de concreto con exposición del acero

En la figura 16 se muestra el problema de filtración de agua, lo que provoca que se refleje la eflorescencia en la losa, evidenciada a través de la mancha blanca formada en el concreto por causa del cloruro de calcio, que es atraído a la superficie del concreto por el agua.



Figura 16. Filtración de agua en la losa y viga, y muestras de eflorescencia.

Las figuras 16 y 17 representan los problemas de descascaramiento en el concreto, provocando la pérdida del recubrimiento en la viga. De tal manera que el acero de refuerzo ya expuesto empieza a afectarse por la corrosión y oxidación que conllevan a la pérdida de sección en el elemento, además de disminuir la capacidad soportante de la viga.

Además del descascaramiento y exposición del acero en vigas, en la inspección se observó que parte de la sección de éstas presentaba grietas como se puede ver en la figura 18.



Figura 16. Problemas de descascaramiento del concreto en vigas



Figura 17. Acero expuesto, producto de la pérdida de recubrimiento.



Figura 18. Grietas en las vigas de concreto.

La grieta mostrada en la figura 19 es una representación del problema de asentamiento diferencial que está afectando la estructura. Esto se debe a los problemas de socavación local en el bastión, que ocasionan la pérdida de estabilidad en la misma.



Figura 19. Grieta ubicada en el aletón del bastión.

Río San Rafael: tiene un puente de concreto ubicado en la sección de control Ciudad Quesada- La Marina, con una longitud de 14m y ancho de 4,7m. Su carpeta asfáltica tiene un espesor original de 50mm, no obstante la sobrecapa de asfalto alcanzó los 80mm de espesor. En el caso de la superestructura, sus elementos principales son dos vigas de concreto de sección tipo "T" con un peralte de 0,9m. En lo que respecta al sistema de piso, la losa de concreto tiene un espesor de 15cm y sus juntas se encuentran obstruidas debido a la sobrecapa existente.

La subestructura está conformada por dos bastiones de concreto tipo gravedad. Según lo observado, dicha estructura cuenta con previstas para la ampliación a dos carriles.

Con respecto al deterioro, este puente posee problemas de mantenimiento en las barandas flexbeam y exposición de acero entre la losa y la viga diafragma. Además, en la figura 24 se observan los daños provocados por la socavación en sus bastiones, que ha llevado a un asentamiento diferencial evidenciado por grietas en el cuerpo del bastión (Ver figura 25)

A continuación se ilustrarán, mediante fotografías, los principales problemas encontrados durante la inspección:



Figura 20. Vista panorámica del Puente sobre Río San Rafael.



Figura 21. Vista inferior del Puente sobre Río San Rafael.



Figura 22. Exposición del acero, provocado por el descascamiento entre la losa y al viga diafragma.



Figura 23. Problemas de oxidación, corrosión y pintura en las barandas flexbeam.



Figura 24. Socavación en bastión.



Figura 25. Grieta provocada por asentamiento diferencial.

Río Leones: de acuerdo con las visitas de campo se obtuvieron los datos del puente de concreto,

diseñado para una carga viva H-15, el cual cuenta con restricción de carga para 13T⁶.

Dicho puente está localizado en la sección de control Ciudad Quesada-La Marina, tiene una capa de pavimento asfáltico con espesor original 50mm y sobrecapa de 150mm.

Su estructura de soporte principal se encuentra conformada por cinco vigas de concreto, éstas presentan sección "T" con un peralte de 60cm y una losa de concreto de 15cm de espesor. Finalmente, la subestructura cuenta con dos bastiones de concreto tipo gravedad. La longitud total del puente es de 7,3m y 6,9m de ancho.

El puente sobre el Río Leones tiene un considerable problema de socavación en uno de sus bastiones, específicamente el bastión No.1, presente en la figura 31, el cual pone en riesgo la estabilidad del puente.

Por otro lado, las vigas de concreto y losa tienen el acero de refuerzo expuesto, fenómeno provocado por las condiciones de humedad que aceleran el proceso de desgaste y deterioro (ver figura 31) y con esto la corrosión y oxidación del refuerzo.

En la figura 30, se observa el mecanismo utilizado para la colocación de una tubería PVC de 50mm de diámetro, fijada a las cinco vigas de concreto del puente y en donde los encargados del acueducto "picaron" cada una de las vigas para colocar el tubo de agua potable, ocasionando que el acero quede igualmente expuesto a las condiciones severas de humedad, comprometiendo la funcionalidad normal de las vigas; es decir, se alteran las condiciones de diseño.

Aunado a lo anterior, se observaron grietas en las vigas laterales, que evidencian las deficiencias de capacidad estructural que poseen los componentes de la estructura.

A continuación, los casos más relevantes de deterioro encontrados en este puente se representan mediante las siguientes fotografías:

⁶ Información brindada por la Empresa Ileana Aguilar Ingeniería y Administración.



Figura 26. Vista panorámica del puente sobre el Río Leones.



Figura 29. Grado de daño de las barandas de concreto.



Figura 27. Vista lateral del estado del puente.



Figura 30. Vigas en mal estado, producto del uso inadecuado.



Figura 28. Material granular predominante en el río.



Figura 31. Desgaste del recubrimiento en las vigas de concreto



Figura 32. Problemas de socavación en los bastiones.



Figura 33. Vista panorámica del Puente sobre Río Marín.

Río Marín: posee un puente de concreto con 6,5m de longitud total y 6,6m de ancho. Estructura diseñada con carga viva H-15, además de presentar restricciones de carga (13 T).

La estructura localizada en la sección de control Ciudad Quesada - La Marina está constituida por una superestructura y dos subestructuras. La primera posee cinco vigas de concreto que tienen un peralte de 0,60m y sección "T". La losa de concreto presenta un espesor de 0,15m y, finalmente, en lo que respecta a la subestructura, ésta se encuentra conformada por dos bastiones tipo gravedad.

La carpeta asfáltica originalmente poseía un espesor original de 50mm; no obstante, actualmente cuenta con una sobrecapa de 150mm.

En las imágenes que siguen se representan los daños que han sufrido los elementos de concreto, específicamente el bastión y las vigas.

En la figura 37 se puede observar la socavación en la fundación, la que con un mayor grado de avance llegaría a provocar la pérdida de estabilidad, es decir alteraciones en la capacidad soportante del puente. No obstante, éste no es el único deterioro presentado, ya que las vigas de concreto tienen problemas de descascaramiento del material, presentando así exposición del acero y, por ende, corrosión y oxidación. (Observar fotografía 36).

En la siguiente figura se observa cómo la acumulación de material se encuentra en uno de los extremos del cauce del río, provocando que el desgaste de la fundación y el cuerpo principal de uno de los bastiones se encuentre más expuesto a la socavación.



Figura 34. Vista Lateral del puente sobre Río Marín, además de acumulación del material granular en un extremo.

Como particularidad, se pretende representar la forma de apoyo de dicho puente (igualmente sucede con la mayoría de los puentes en la ruta 140), esto debido a que las vigas simples de los puentes, normalmente presentan una longitud de asiento, en este caso dichos elementos continúan su longitud de asiento hasta llegar al relleno de aproximación, es decir se cuenta con una especie de "empotramiento", que evita cualquier movimiento de rotación y traslación.

Esta característica fue posible observarla mediante una reparación efectuada en el Puente Quebrada del Palo.



Figura 35. Representación de la forma de apoyo de las vigas.



Figura 36. Descascamiento del concreto.



Figura 37. Problemas de socavación.

Río Zapotal: su puente está ubicado en la sección de control La Marina- Aguas Zarcas, tiene 9,2m de longitud y 6,8m de ancho, fue diseñado con carga viva H-15 y con restricción para cargas mayores a 13T⁷.

Entre los componentes de la superestructura tenemos cinco vigas simples de concreto, con sección T y un peralte de 0,6m. La losa es de concreto, con un espesor de 0,15m. La sobrecapa de 60mm impide observar el tipo de junta que tiene el puente, porque se encuentran obstruidas.

En lo que respecta a los elementos de la subestructura, tenemos bastiones tipo gravedad, los cuales con cuyo peso se encargan de soportar los esfuerzos de empuje por parte del relleno de aproximación.

Estructuralmente, este puente sufre fuertes problemas con respecto al deterioro de las vigas de concreto, ya que debido a la carga repetitiva se presentan grietas, descascamiento del concreto, oxidación y corrosión del acero transversal y longitudinal. El último deterioro se encuentra tan avanzado que el acero ha perdido sección debido a esa circunstancia. Por otro lado, uno de los bastiones está siendo afectado por la socavación, problema muy característico en los puentes de la sección de control Ciudad Quesada- La Marina.

Con respecto a lo mencionado se presentan fotografías que ilustran los problemas inspeccionados y destacados durante la visita:



Figura 38. Vista panorámica del puente sobre el Río Zapotal, además del detalle de socavación en el bastión No.2.

⁷ Información brindada por la Empresa Ileana Aguilar Ingeniería y Administración

En la siguiente figura se presenta el tipo de apoyo utilizado en la estructura, en donde no se consideran apoyos fijos ni expansivos. En el caso mostrado se observa cómo las vigas son empotradas en el relleno de la carretera.



Figura 39. Vista inferior, señalando el método de apoyo de las vigas de concreto.



Figura 40. Material granular predominante en el río.



Figura 41. Exposición del acero en las barandas de concreto.



Figura 42. Pérdida del recubrimiento de concreto y con ello la exposición severa del acero.



Figura 43. Descascaramiento del concreto



Figura 44. Acero longitudinal y transversal expuesto.

Seguidamente se muestran grietas en las vigas de concreto. Estos daños son de consideración en el elemento, las figuras 45 y 46, son evidencia del desgaste sufrido.



Figura 45. Presencia de grietas en las vigas principales



Figura 46. Grietas en la viga cabezal, en el punto de apoyo.

Río Sardinal: con una estructura de concreto localizada en el límite cantonal entre Grecia/Alajuela- San Miguel de Sarapiquí. Tiene 34 m de longitud y 4,3m de ancho, cuenta con tres tramos, de los cuales dos tienen por superestructura únicamente una losa de concreto de 40cm de espesor, con una longitud por cada tramo de 7,25m.

En el caso del tramo central, su longitud es de 19,5m. Esta sección, además de contar con una losa de 15cm de espesor, presenta dos vigas simples de concreto en sección I con un peralte de 1,10m.

La subestructura del puente está compuesta por dos bastiones y dos pilas, ambos son tipo marco rígido.

Los problemas más relevantes en esta estructura se deben a la falta de mantenimiento en las barandas de flexbeam, así como la filtración de agua a través de la losa que genera eflorescencia y, finalmente, la corrosión y

oxidación de los pernos y platinas en los apoyos. A continuación se presenta el estado de deterioro de la estructura.



Figura 47. Vista panorámica del Puentes sobre Río Sardinal.



Figura 48. Vista inferior, así como detalles de vigas principales, viga diafragma y pila.



Figura 49. Corrosión y oxidación en apoyos.



Figura 50. Filtración de agua a través de la losa (eflorescencia).



Figura 51. Corrosión y oxidación en las barandas flexbeam.

Río Platanar: con un puente de concreto de 12,4m de longitud y 5m de ancho, localizado en la sección de control Ciudad Quesada- La Marina. Este puente fue diseñado para una carga viva H-15; presenta una carpeta asfáltica con espesor original de 50mm y sobrecapa de 50mm.

Cuenta con dos vigas de concreto en sección T y un peralte de 0,6m. En el caso de su subestructura cuenta con dos bastiones tipo gravedad.

Este puente es uno de los más afectados dentro de esta sección de control, ya que sus severos problemas en losa y vigas representan la necesidad de su sustitución.

En las figuras 54,55 y 56 se puede apreciar que la losa sufre problemas de agujeros y exposición del acero, originado por el descascamiento del concreto, igualmente sucede con las vigas principales del puente, donde la corrosión y oxidación afectan el

refuerzo. En lo referente a la losa, ésta se considera fuera de servicio por el grado de deterioro que sufre a la fecha, de la misma manera sucede con las vigas.

En la figura 53, se representa el problema del claro hidráulico y la sección del cauce del río, ya que ambos son muy pequeños en comparación con la capacidad hidráulica necesaria, lo que compromete con frecuencia al bastión, hasta el punto de causar la pérdida de capacidad y con ello el colapso. Esta acción del río sobre la subestructura ha originado socavación y con ello un asentamiento considerable.

Por otro lado, dicho puente tiene faltante de baranda en uno de sus extremos, lo que viene a formar un problema para los usuarios (ver figura 52).

Como representación de los problemas descritos se tiene:



Figura 52. Vista panorámica. Además del detalle de faltante de barandas.



Figura 53. Detalle del claro hidráulico



Figura 54. Vista Inferior del puente sobre Río Platanar.



Figura 57. Problemas de socavación en los estribos.



Figura 55. Descasacamiento del concreto y exposición del acero.



Figura 56. Losa fracturada, se observa la exposición del acero de refuerzo.



Figura 58. Vista general del puente sobre Río Aguas Zarcas.

Río Aguas Zarcas: localizado en la sección de control La Marina-Aguas Zarcas. El puente tiene 22,4m de largo y 4,3m de ancho. La superestructura está conformada por dos cerchas de paso inferior, una losa de concreto de 20cm y juntas abiertas en los extremos (bastiones). Dos bastiones de concreto tipo gravedad y apoyos fijos componen la subestructura.

El puente tiene problemas de socavación local y general, ya que las bases del bastión y las márgenes del río son las afectadas; sin embargo, el deterioro radica principalmente en la falta de mantenimiento en las estructuras de acero (cerchas y apoyos) y en las barandas tipo flexbeam y en la filtración de agua a través de las juntas de expansión.



Figura 59. Vista lateral de la estructura, representación de las cerchas de paso inferior.



Figura 62. Problemas de socavación en base del bastión y en márgenes del río.



Figura 60. Detalle de corrosión y oxidación de los apoyos.



Figura 61. Detalle de cerchas, específicamente de la falta de mantenimiento.

Río Guayabo: posee una estructura de concreto con 41,25m de longitud y 4,8m de ancho. Se localiza en la sección de control de Venecia hasta el límite cantonal de Grecia y Alajuela (Río Sardinal). Está compuesto por dos tramos, en cada uno hay dos vigas simples de concreto con sección T y altura de 0,6m. En la superestructura el espesor de la losa es de 18cm y las juntas son del tipo abiertas.

Los componentes encargados de soportar la superestructura están constituidos por dos bastiones de concreto tipo marco, una pila también tipo marco y apoyos fijos.

Con respecto al deterioro de la estructura, su principal problema se centra en la socavación sufrida en uno de sus bastiones, esto por la pérdida del talud frontal y lateral. Mediante la visita de campo, se comprobó que este bastión no posee una "pantalla" que facilite la retención del material de relleno, de modo que resulta indispensable realizar acciones de readecuación para evitar que en época de invierno el problema aumente y resulte más complicado y costoso realizar los trabajos de mantenimiento.

En las imágenes se representa el escenario descrito.



Figura 63. Vista general del puente sobre Río Guayabo



Figura 66. Detalle del nivel de socavación y la falta de protección ("pantalla").



Figura 64. Pérdida de material de relleno lateral.

En la siguiente figura se presenta la exposición del acero, debido a la acción del cauce del río (golpe de piedras)



Figura 67. Detalle del acero principal y transversal expuesto en la pila.



Figura 65. Erosión y socavación alrededor de la columna del marco del bastión.

Río Caño Grande: su puente está ubicado en la sección de control Aguas Zarcas-Venecia, con una longitud de 42,67m, ancho de 7,3m y una losa de concreto de 0,15cm. Posee una estructura de cercha de acero tipo "pony". Las ocho vigas principales de acero son de sección I con un peralte de 0,75m; en el caso de las cinco vigas secundarias tienen un peralte de 0,40cm. Los bastiones que conforman las subestructuras son de concreto tipo "marco". Los apoyos presentes son expansivo tipo "balancín" en un extremo y en el otro un apoyo fijo.

Esta estructura de acero tiene como su mayor problema la presencia de agujeros en la losa de concreto, los cuales ponen en peligro a los usuarios de la vía.

En la losa, en muchas ocasiones, se han presentado intentos de reparar los daños, sin embargo, las soluciones han sido temporales, ya que, como se observa en la fotografía 73, el problema no se ha resuelto y cada vez los agujeros presentan dimensiones mayores. En las figuras 73 y 75 respectivamente, se ven las placas utilizadas como método para “reparar” los agujeros y, en el segundo caso, se ven las grietas de la losa, probablemente producto de la fatiga del elemento.

Por otro lado, al estar agrupado en el centro del cauce, el material granular provoca que las aguas se recarguen a un solo costado, lo que origina problemas de socavación, tanto para los márgenes como para la estructura en mención (Ver figura 70)

Además, al ser una estructura de acero, es preciso realizar mantenimiento en cuanto a pintura y limpieza de los componentes de la cercha y de los apoyos, como se observa en las figuras 68, 69 y 71.

La reparación de algunos de los elementos del arriostramiento es importante, ya que como se puede ver en la figura 71 algunos de estos han sufrido rotura por fatiga y por la acción de los efectos climáticos (por ejemplo la humedad)

Como detalles considerados importantes durante las visitas de inspección están los representados seguidamente:

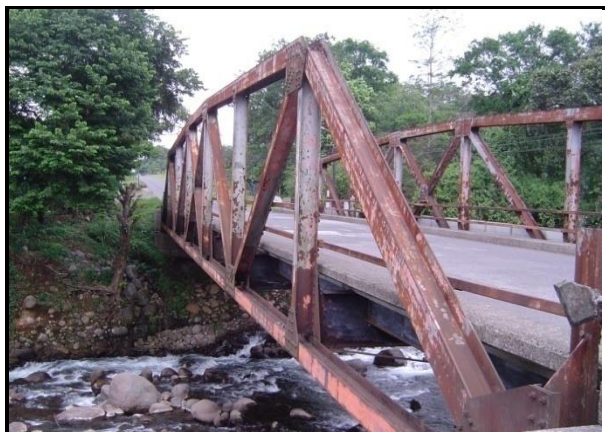


Figura 68. Vista panorámica del puente sobre río Caño Grande.



Figura 69. Vista inferior, además del detalle observado de corrosión y oxidación en los elementos de acero.



Figura 70. Detalle del material granular presente en el río.



Figura 71. Detalle de corrosión y oxidación en el apoyo expansivo tipo patín.



Figura 72. Pérdida de área en las vigas secundarias, producto de la corrosión.



Figura 75. Detalle de las grietas presentes en la losa de concreto.



Figura 73. Agujeros en la losa, así como la presencia de bache y el acero expuesto.



Figura 74. Detalle de las "reparaciones" efectuadas en la losa.

Río Toro: su puente está localizado en la sección de control del límite cantonal San Carlos/Grecia-límite cantonal Grecia/Alajuela. Como característica importante, dicho puente cuenta con 2 tramos, uno de los cuales está constituido por cuatro vigas simples de concreto de sección I y peralte de 1,13m. En este mismo tramo, la losa es de concreto con un espesor de 0,17m. En lo que respecta al segundo tramo, se constituye por 11 perfiles de acero sección I (vigas simples) y peralte 0,7m, su losa presenta un espesor 17cm en ambas estructuras (acero y concreto).

La subestructura del puente está conformada por tres componentes: dos bastiones de concreto tipo "marco rígido" y una pila es tipo "columna sencilla".

Para esta estructura tipo cercha con paso inferior, se tiene una restricción de altura de 5m, una longitud total de 96m y 7,9m de ancho.

A continuación se ilustran los tipos de deterioro sufridos por el puente sobre el Río Toro, éstos recaen principalmente sobre los elementos de acero, donde la falta de mantenimiento (como pintura) y problemas de corrosión-oxidación generan pérdida de sección y rotura de los elementos, como se observa en las figuras 77, 78 y 79.

Con respecto a los daños o deterioros encontrados en el puente se exponen:



Figura 76. Vista panorámica del puente sobre el Río Toro.



Figura 79. Corrosión y oxidación en las vigas principales de acero.



Figura 77. Corrosión y oxidación en apoyos fijos.



Figura 78. Presentación de la rotura de elementos en el sistema de arriostramiento.

Quebrada el Palo: su puente de concreto está ubicado en la sección de control Ciudad Quesada-La Marina. Tiene una longitud total de 8,2m y un ancho de 7m, cuenta con restricción de carga de 13 T. En cuanto a la carpeta asfáltica original se observó un espesor de 50mm, no obstante se encontró una sobrecapa de 100mm. Dentro de los componentes de la superestructura y subestructura tenemos: cinco vigas simples de concreto de sección T con un peralte de 0,6m, una losa de concreto de 0,17m de espesor y bastiones de concreto tipo “gravedad”.

Por otro lado, es importante destacar que a dicha estructura se le realizaron trabajos de reparación, debido al colapso sufrido en uno de sus bastiones, provocado por el asentamiento diferencial. Seguidamente se mostrarán de forma representativa los trabajos efectuados al puente, para solucionar el problema descrito, además de otros problemas de exposición del acero encontrados en las vigas de concreto:

En la imagen se puede observar claramente el efecto producido por el asentamiento diferencial del bastión, en donde se originó una grieta en el aletón. Esta grieta fue rellenada con mortero expansivo.



Figura 80. Detalle de la grieta provocada por el asentamiento diferencial.

La socavación es uno de los problemas encontrados en los estribos de los bastiones del Puente Quebrada del Palo. Debido a eso, se realizó inyección de concreto para recuperar el asentamiento diferencial que se había presentado. Además, se colocó concreto con el propósito de realizar un estilo de “berma” y evitar el desgaste de la base del bastión (socavación).



Figura 81. Detalle del estado del bastión luego de l reforzamiento.

Debido a los problemas del asentamiento, las vigas quedaron sin soporte, por esta razón fue necesaria la colocación de vigas de acero que funcionaran como apoyos.



Figura 82. Colocación de vigas de acero que funciona como apoyo para levantar las vigas de concreto.

En la siguiente imagen se puede observar el deterioro que experimentan las vigas principales del puente; a pesar de que ya se realizaron medidas de reforzamiento, éstas quedaron por fuera de los trabajos y se observa mediante la exposición del acero. El buen estado de los elementos es importante para evitar cualquier problema estructural.



Figura 83. Acero Expuesto en las vigas principales de concreto.

Con respecto a las estructuras de: Río Cuarto, Río Tercero, Río Hule y Quebrada Florida, no fue preciso realizar un análisis de deterioro, ya que durante las visitas de campo fueron considerados en condiciones estables, pues que sus vigas y losa de concreto (para el caso de los tres primeros) no presentaban grietas, descascamiento del concreto, ni

exposición del acero. Igualmente, los bastiones tipo “marco” se encontraban fuera de problemas en sus bases (socavación). Es importante destacar que la mayoría de las barandas tipo flexbeam de estos puentes requieren de mantenimiento

La estructura del puente en Quebrada La Florida, fue construida recientemente, por lo que no tiene problemas en los elementos (vigas, losa, bastión y apoyos). Sin embargo, no se tomaron en cuenta las especificaciones técnicas para la construcción de las juntas de expansión.

Seguidamente se ofrece una representación de la condición actual (agosto 2009) de las estructuras mencionadas:

Río Cuarto: con un puente de concreto de 21,1m de longitud y ancho de 4,3m, ubicado en la sección de control límite cantonal San Carlos/Grecia-límite cantonal Grecia/Alajuela. En cuanto a sus componentes, la superestructura está compuesta por dos vigas simples de concreto en sección I y 1,25m de peralte. La losa de concreto presenta un espesor de 18cm, los bastiones de concreto que conforman la subestructura son del tipo “marco rígido”.



Figura 85. Vista inferior, con detalle del buen estado de las vigas de concreto.



Figura 86. Detalle de corrosión y oxidación de los postes en la baranda flexbeam.



Figura 84. Vista lateral del Puente sobre Río Cuarto.



Figura 87. Deformación de las barandas flexbeam.

Río Tercero: su puente se localiza en la sección de control límite cantonal San Carlos/Grecia y límite cantonal Grecia/Alajuela. Es de concreto y tiene una longitud de 32m y un ancho de 4,3m. Cuenta con dos tramos: uno de ellos está constituido por una losa de concreto de 30cm de espesor y 6,8m de longitud; en el segundo tramo la superestructura la conforman una losa de concreto de 0,17 m y dos vigas simples de concreto de sección I, altura de 1,4m y longitud de 25,2m. Dos bastiones de concreto tipo “marco rígido” y una pila de concreto tipo “marco” forman la subestructura del puente.



Figura 88. Vista panorámica del puente sobre Río Tercero.



Figura 89. Vista inferior, detalle de las vigas de concreto.

En general, dicho puente no presenta desgaste en sus elementos, únicamente problemas de mantenimiento en las barandas tipo

flexbeam, específicamente corrosión y oxidación en los postes.

Río Hule: localizado en la sección de control límite cantonal San Carlos/Grecia y límite cantonal Grecia/Alajuela. Puente con una longitud total de 25m y un ancho de 4,3m. Su superestructura está constituida por dos vigas de concreto de sección I y altura de 1,4m, además de una losa de concreto de 0,18 m de espesor, y la subestructura por bastiones de concreto, tipo “marco rígido”.



Figura 90. Vista lateral del puente sobre Río Hule.



Figura 91. Vista inferior, detalle de las vigas de concreto.

También este puente tiene problemas de corrosión y oxidación tanto en las barandas tipo flexbeam como en los pernos y platinas de los apoyos.



Figura 92. Corrosión y oxidación en los pernos y platina de los apoyos.



Figura 94. Vista lateral de la Quebrada Florida.



Figura 93. Corrosión y oxidación de las barandas.

Quebrada La Florida: se ubica en la sección de control Ciudad Quesada-La Marina. Puente con una longitud de 19m y un ancho de 9,4m. Esta estructura de concreto fue diseñada con una carga viva HS20-44+25%.

La superestructura tiene ocho vigas de concreto con sección T, además de una losa de concreto de 0,2m de espesor. En el caso de la subestructura se compone por dos bastiones tipo voladizo y apoyos fijos.

A pesar de estar recientemente construida y habilitada al tránsito de vehículos, presenta problemas constructivos en las juntas de expansión (juntas selladas), ya que no se construyó según las especificaciones de los planos del diseño, lo que provoca la filtración de aguas, como se presenta en la figura 95.



Figura 95. Filtración de agua, debida a la deformación o faltante en las juntas.

Ruta 4

En esta ruta tenemos puentes sobre: Río Chirripó, Río Brazo del Sucio, Río San José, Río Isla Grande, Río Tigre y Río Sarapiquí.

El número de inspecciones a realizarle a cada uno de los puentes se determinó con respecto al grado de deterioro que presentaban los elementos.

A continuación se describirán las características de los puentes, además de ilustrar mediante fotografías el deterioro sufrido por cada uno.

Río Chirripó: ubicado en la sección de control del límite provincial Limón/Heredia-Las Vueltas de Horquetas. Es un puente de 174,35m de largo y 10,4m de ancho, con una sobrecapa de asfalto de 40mm. Dicha estructura está constituida por tres tramos con dimensiones de 46,5m, 82,8m y 46,5m. La superestructura cuenta con vigas cajón, losa de 20cm con juntas dentadas en ambos extremos. La subestructura se compone de dos bastiones de concreto tipo “cabezal” sobre pilotes, dos pilas de concreto tipo columna sencilla de forma elíptica y, finalmente, los apoyos son de tipo fijo (en los bastiones) y tipo expansivo (ubicados en las pilas).

Actualmente (2009), la Dirección de Puentes del MOPT mantiene una propuesta de rehabilitación ya que este puente presenta problemas de acero expuesto en sus pilas, debido al desgaste provocado por el cauce del río.

Los bastiones, principalmente el No.1, también presentan socavación local en el muro de retención. No obstante, se observó que dicha socavación no solamente se presenta en forma local, ya que las márgenes del río están siendo afectadas, de modo que la socavación es general.

Seguidamente se mostrarán los problemas identificados mediante la inspección, ya que, por ejemplo, en el caso de las pilas, su acceso fue difícil lo que obstaculizó determinar el grado de deterioro que sufrían estos elementos, igualmente sucedió con los apoyos expansivos.



Figura 96. Vista panorámica del puente sobre el Río Chirripó.

En la siguiente figura se aprecia la viga cajón, uno de los componentes de la superestructura, construida con materiales como acero o concreto. La figura muestra el detalle de la viga cajón que compone el puente sobre el Río Chirripó y se observan problemas de fisuras y falta de mantenimiento, debido a la acción de los fenómenos climáticos.



Figura 97. Vista inferior, detalle de la viga cajón



Figura 98. Detalle de fisuras presentes en la viga cajón.



Figura 99. Material granular predominante en el río

En la figura 100 se muestra el grado de socavación provocado por la falta de protección y acumulación de material en las partes centrales del cauce (ver figura 99).



Figura 100. Problema de socavación general en las márgenes del río.

La siguiente figura muestra la socavación en el muro encargado de retener el material de relleno del bastión.



Figura 101. Socavación en el muro ubicado en el bastión No.1.

Obsérvese la exposición de los pernos de anclaje en las juntas de expansión de la figura 101, lo que representa un peligro para los usuarios, ya que se encuentran totalmente dañadas.



Figura 102. Deterioro de las juntas dentadas.

Río Brazo del Sucio: su puente está localizado en la sección de control entre el Límite provincial Limón/Heredia-Las Vueltas de Horquetas. Es de concreto y tiene una longitud total de 34,2m y un ancho total de 10,3m. Los componentes de la subestructura y superestructura están compuestos por: bastiones de concreto del tipo “marco rígido”, apoyos fijos, cinco vigas simples de concreto pos-tensado de sección I con una altura de 1,7m, una losa de concreto de 0,12m de espesor y juntas selladas en sus extremos. Como

dato importante, cuenta con la presencia de escolleras⁸ como protección en ambos bastiones.



Figura 103. Vista panorámica del puente sobre Río Brazo del Sucio.



Figura 104. Vista lateral del puente sobre Río Brazo del Sucio, y detalle de la escollera.

Esta infraestructura vial no presenta daños en sus elementos de concreto (grietas o descascaramiento en vigas losa, bastiones, barandas). Sin embargo, expone problemas que no afectan la capacidad autosoportante del puente; entre ellos, nidos de piedra y eflorescencia, en algunas zonas de las vigas principales; además, corrosión en las placas y pernos de los apoyos.

⁸ Revestimiento rígido de hormigón ciclópeo (piedra y mortero) que se instala para proteger de la erosión los taludes o el cauce del río.

En la figura 105, se observan nidos de piedra, debidos en su mayor parte a la segregación del material grueso, de los agregados finos y la pasta de cemento. El colado inapropiado del concreto es causante de este tipo de problemas. A pesar de su poco grado de deterioro, es importante señalar la situación presentada con respecto a los de nidos de piedra.



Figura 105. Nidos de piedra presentes en la viga cabezal del bastión.

La figura 106 representa la eflorescencia en las vigas principales de concreto. Este efecto se evidencia a través de manchas blancas, las cuales indican la existencia de grietas profundas que penetran la losa. Gran parte de la superficie de las vigas evidencia este deterioro.



Figura 106. Eflorescencia en zonas de la viga principal.

La corrosión y la oxidación de los elementos de acero son uno de los mayores problemas detectados en varios de los elementos. En el caso de los apoyos, se observa la falta de mantenimiento en los apoyos fijos del puente.



Figura 107. Corrosión y oxidación en los pernos y placas de los apoyos.

Río San José: con puente de concreto localizado en la sección de control del límite provincial entre Limón/Heredia hasta las Vueltas de Horquetas. Esta estructura tiene una longitud de 40m, un ancho de 10,8m y se divide en dos tramos cada uno de 20m.

Los componentes principales de la superestructura son: cinco vigas de concreto post-tensado con sección I y una altura de 1,75m. Con respecto la losa y juntas, la primera tiene un espesor de 0,18m y la segunda se caracteriza por ser juntas selladas en ambos extremos.

Los elementos encargados de soportar la superestructura están formados por dos bastiones de concreto tipo “marco rígido” y una pila de concreto tipo “columna sencilla”, los apoyos son fijos (uno en cada bastión) y expansivos sobre la pila (uno para cada tramo).

Al igual que muchos de los puentes que fueron visitados para analizar el tipo de deterioro que sufrían a la fecha, se encontró que dicha infraestructura vial no presentaba problemas estructurales en sus elementos de concreto (vigas, bastiones, pilas, entre otros), a pesar de ello, se observará en la figura 111, la falta de protección en el relleno de aproximación de uno de los bastiones, a diferencia de la figura 110 en donde se tiene una escollera con funcionalidad para soportar dicho relleno.



Figura 108. Vista lateral del puente sobre Río San José.

Igualmente, se presenta corrosión y oxidación de los pernos y placas de acero en los apoyos. En el caso de la figura 109 se observa únicamente el apoyo fijo, sin embargo se considera el mismo desgaste en todos los apoyos, ya que se encuentran expuestos a los mismos agentes climáticos.



Figura 109. Detalle de corrosión y oxidación en los apoyos.



Figura 110. Vista inferior, detalle de escollera en uno de los bastiones.



Figura 111. Detalle del mal soporte usado para la retención de material.



Figura 112. Representación de la pérdida del talud de protección.

Río Isla Grande: su puente tiene una longitud de 34,2m de largo y 10,4 de ancho. Se ubica en la sección de control de las Vueltas de Horquetas hasta Puerto Viejo de Sarapiquí.

Las cinco vigas simples de concreto post-tensado son de sección I y con una altura de 1,7m. La losa de concreto tiene un espesor 0,12m y juntas selladas en ambos extremos.

Los bastiones de concreto tipo “marco rígido”, forman parte de la subestructura, al igual que los apoyos fijos en ambos bastiones (extremo).

Como dato importante, ambos rellenos de aproximación se encontraban protegidos por escolleras, el problema es que por la acción erosiva, una de estas escolleras perdió su función (ver figura 115).

Sus vigas no presentan problemas de corrosión ni oxidación, caso contrario con los apoyos fijos, ya que los fenómenos climáticos son causantes del desgaste continuo de los pernos y platinas de acero, tal y como se observa en la figura 116.



Figura 113. Vista panorámica del puente sobre el Río Isla Grande.



Figura 114. Vista lateral del puente.



Figura 115. Detalle del mal estado de la escollera de uno de los bastiones de concreto.



Figura 116. Corrosión y oxidación en los apoyos.

Río Tigre: con un puente de concreto localizado en la sección de control las Vueltas de Horquetas hasta Puerto Viejo de Sarapiquí, cuya longitud es de 52,6m y un ancho de 9,3m. La estructura cuenta con 2 tramos, el primero con una longitud de 36m y el segundo mide 20,5m; ambos poseen cinco vigas simples de concreto pos-tensado, sección I y peralte de 1,8m y 1,5m respectivamente. La losa y las juntas tienen un espesor de 12cm y juntas selladas para cada tramo.

La subestructura se compone de una pila de concreto del tipo columna sencilla, dos bastiones de concreto tipo marco rígido y apoyos fijos.

Puente en buenas condiciones estructurales, sin mayores problemas en sus elementos de concreto. Sin embargo, presenta una deformación en sus vigas de concreto pos-tensado, representadas en la figura 119. A pesar de ser considerada una estructura en buenas condiciones, es necesario realizar medidas de mantenimiento para reducir la eflorescencia y filtración de aguas por medio de las juntas.



Figura 117. Vista general del puente sobre Río Tigre.



Figura 118. Vista lateral de la estructura



Figura 119. Deformación en vigas postensadas.



Figura 120. Filtración de agua a través de las juntas selladas.

Río Sarapiquí: el puente se localiza en la sección de control las Vueltas de Horquetas hasta Puerto Viejo de Sarapiquí, con una longitud total de 100,96m y un ancho de 7,3m. Este puente fue

diseñado con una carga viva de HS15-44⁹.

Cuenta con tres tramos de 22,28m, 55m y otro de 22,28m. La superestructura se compone de cinco vigas simples de acero con sección I y peralte de 1,85m.

Con respecto a la losa de concreto, cuenta con un espesor de 17cm en los tres tramos y sus juntas de expansión son del tipo selladas. Éstas, a la vez, se dividen en juntas rellenas y juntas de placas dentadas, el primer tipo se encuentra en ambos extremos y en una de las juntas del tramo central, que presenta articulación fija y la junta dentada está en la losa central que presenta articulación móvil (ver **Anexo 11**). Esta particularidad se debe al método utilizado para su diseño, como se puede observar en el **Anexo 12**, ya que la losa está en voladizo, por lo que presenta una junta con articulación móvil y fija para lograr conectar con los otros dos tramos.

En relación con los componentes de la subestructura, entre ellos están dos bastiones tipo muro en voladizo con una altura de 2,34m y fundación de 4,05m x 2m (tipo placa corrida); por otro lado, están las pilas tipo "columna sencilla" en forma elíptica, con una altura de 17,9m y una fundación de 2,2m x 6,9m en la pila No.1 y en la pila No.2 dimensiones de 3,05m x 9,8m (ambas tipo placa corrida).

Los apoyos en esta estructura son del tipo "fijo" sobre los bastiones y "expansivo" sobre pilas.

Las dimensiones y detalles estructurales de este puente se obtuvieron por medio de planos digitales solicitados a la Dirección de Puentes del MOPT.

⁹ Camión de dos ejes, con paso en un carril, con un peso neto de 15 toneladas. Con especificaciones de la edición 1944 AASHTO



Figura 121. Vista general del puente sobre el Río Sarapiquí.



Figura 123. Detalle de la falta de mantenimiento de las barandas tipo flexbeam.



Figura 122. Vista inferior.

El problema en las barandas tipo flexbeam es uno de los daños frecuentes en los puentes de la zona San Carlos, debido a que la mayoría de vehículos que transitan las rutas son de carga pesada y, de alguna forma golpean los elementos provocando peligros para los usuarios de la vía.

Por esta razón es necesario sustituir los tramos de flexbeam que se encuentren totalmente deformados y no sea posible efectuar algún tipo de mantenimiento, así como los postes que presentan corrosión y oxidación.

Entre los daños o problemas encontrados en la visita efectuada al puente sobre el Río Sarapiquí, de forma general se tiene el deterioro en los elementos de acero, esto por la falta de mantenimiento (pintura), ya que la corrosión y oxidación generan, tanto desgaste, como la disminución en el área de los elementos. En la figura 123, se ve la falta de pintura de las vigas principales, igualmente, en la figura 124, se observan el desgaste y la pérdida de la sección.



Figura 124. Representación de la corrosión y oxidación en la viga principal de acero.



Figura 125. Pérdida de sección en las vigas principales, producto de los problemas de corrosión.

También los apoyos fijos de la estructura presentan problemas de corrosión. Éste es un deterioro de importancia, ya, que al desgastarse, los pernos pueden fallar por el impacto constante, producto del tránsito de vehículos de carga pesada y con esto provocar la inestabilidad de la estructura en general, imposibilitando la función principal de los apoyos de restringir la translación por expansión o contracción (térmica o sísmica); además de la rotación por la deflexión que causan las cargas. La figura 126 ejemplifica el grado de daño de los elementos.

En la imagen 127, se observa cómo en el apoyo hay ausencia del perno que une la viga con la platina. Este daño compromete el funcionamiento adecuado de la estructura, ya que debido a esto se permite la translación vertical de 5cm de la losa y vigas.

En las inspecciones efectuadas fue posible visualizar la entrada y salida de vehículos con carga pesada (ver figura 128), provocando un desequilibrio de peso sobre la losa, al encontrarse los tramos 1 y 3 en voladizo, ocasionando el desplazamiento vertical en rangos no aceptables que comprometen la estabilidad y el funcionamiento seguro tanto de la viga como de la losa. Éste es un defecto de diseño que, además, hace que las placas de 60x60cm, ubicadas en los apoyos, sean golpeadas constantemente.

La figura 129, representa otro de los problemas causado por el desplazamiento vertical, la circunstancia se refiere a la pérdida de la funcionalidad de la junta de expansión. En la imagen se muestra cómo estos elementos divisorios están sufriendo daños como la pérdida

del hule chorreado, el material premoldeado, además del desgaste de la tapajunta de goma.



Figura 126. Corrosión y oxidación en pernos y placas de los apoyos.



Figura 127. Ausencia del perno principal que une la viga con la placa.

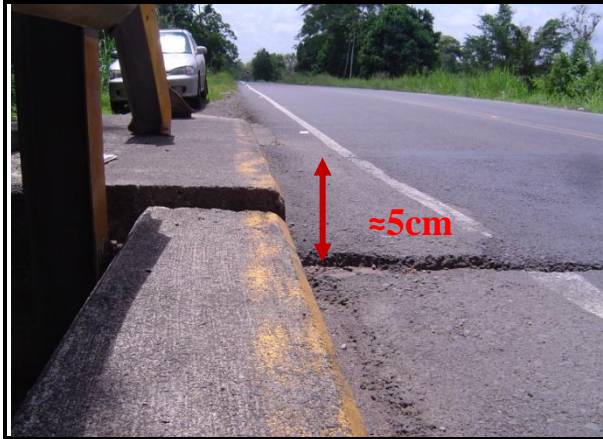


Figura 128. Problemas de levantamiento vertical en la losa.



Figura 130. Vista inferior de la losa, con problemas de grietas y eflorescencia



Figura 129. Acero expuesto y pérdida de condición normal de la junta.

Por medio de la inspección de la losa en su parte inferior, se encontraron grietas considerables, las cuales son profundas por el hecho de evidenciar eflorescencia a su alrededor.



Figura 131. Socavación en el talud del bastión No.1.

En la siguiente figura se muestra el desgaste en el cuerpo del bastión. A pesar de no inspeccionarse el estado de la pila de una forma más cercana, se observa el desgaste que sufre el elemento, es decir se presentan problemas de socavación local.



Figura 132. Socavación en la pila.

Ruta 141

En esta ruta se tienen dos puentes sobre el Río La Vieja y el Río Peje, respectivamente.

Es una de las rutas más transitadas por vehículos de carga pesada, ya que es la vía principal de conexión de la Zona Norte con el Valle Central y por medio de ella se da un gran intercambio comercial.

El número de inspecciones a realizar a cada una de las infraestructuras se determinó con respecto al nivel de deterioro que presentan sus elementos.

A continuación se describirán las características de los puentes, además de la identificación mediante fotografías del deterioro de algunos de sus componentes:

Río La Vieja: con un puente diseñado bajo una carga viva HS20-44. Se ubica en la sección de control del Límite cantonal Alfaro Ruíz/San Carlos-Ciudad Quesada. Con una longitud de 42,2m y un ancho de 10,2m, esta estructura se compone de cuatro vigas simples de acero con una altura de 2,25m en sección I, su losa tiene un espesor de 18cm y en sus extremos presentan juntas selladas. Además se tienen los componentes de la subestructura, como son los bastiones de concreto tipo “marco rígido”, con una altura de 7,75m en el bastión No.1 y de 6,85m en No.2; sus fundaciones tienen dimensiones de 2m x 4,4m y 2m x 3,8m respectivamente. Con respecto a los apoyos, éstos son fijos en cada extremo.

Este puente se comporta con normalidad, es decir, no tiene problemas estructurales que comprometan la estabilidad y funcionamiento de la infraestructura vial.

Durante la inspección realizada se detectaron daños de mantenimiento en sus vigas y apoyos, donde los elementos se encontraban afectados por las condiciones severas de humedad presentes en la zona, lo que provoca que la oxidación y corrosión se desarrolle a través de las secciones de acero, del modo como se observa en las figuras 135 y 136 .



Figura 133. Vista general del puente sobre el Río La Vieja.



Figura 134. Vista inferior de la estructura del puente, representando las vigas de acero y el sistema de arriostramiento.



Figura 135. Corrosión y oxidación en los apoyos fijos.



Figura 137. Filtración de a través de la losa.



Figura 136. Corrosión-oxidación y falta de mantenimiento en las vigas principales, específicamente las vigas laterales.

La siguiente figura muestra el agrietamiento en la zona inferior de la losa. El mismo provoca la filtración de agua, que además es causa de eflorescencia alrededor de la fisura, así como se presenta en la figura 137.

Río Peje: su puente tiene una longitud de 20.5m y un ancho de 5,4m. Se encuentra localizado en la sección de control del Límite cantonal Alfaro Ruíz/San Carlos-Ciudad Quesada.

La superestructura está compuesta por dos cerchas de paso superior, losa de concreto con 20cm de espesor y juntas abiertas en ambos extremos.

Finalmente, la subestructura se compone de dos bastiones tipo “voladizo” y apoyos fijos en ambos costados.

Este puente presenta deterioro en sus elementos de concreto, así como falta de mantenimiento en las cerchas y apoyos.

Las siguientes fotografías ilustran los daños identificados durante la inspección.



Figura 138. Vista general del puente sobre el Río Peje



Figura 139. Vista lateral de la estructura.

Las cerchas del puente, así como los apoyos, se encuentran con problemas de corrosión y oxidación, debido tanto a las condiciones de humedad a las que se ven sometidos los elementos, como a la falta de mantenimiento (observar figura 140)

Además en la figura 141, se muestra la filtración de agua a través de las juntas, una de las causas para el desgaste de los apoyos, armadura y estructura de concreto.



Figura 140. Desgaste de las cerchas.



Figura 141. Falta de mantenimiento de los apoyos fijos, así como la filtración de agua por medio de las juntas.

Como se observa, el principal problema en el puente sobre el Río Peje está en el alto nivel de socavación local, sufrido por el bastión No. 2 de la estructura, ya que, como se muestra en la figura 142, la fundación ha sido desgastada por la acción constante y severa del cauce del río. La acumulación de material granular es uno de los causantes principales de la acción directa sobre la base del bastión, ya que la mala canalización conlleva al efecto de socavación.



Figura 142. Problemas de socavación en la base del bastión.

Ruta 229

En esta ruta tenemos como única infraestructura vial inspeccionada, el puente sobre el Río San José.

El nivel de deterioro de los elementos del puente se determinó mediante inspecciones

iniciales y en determinado caso inspecciones rutinarias, para llevar a cabo el diagnóstico del estado actual (2009) de la estructura.

En seguida se describen las características del puente, además de la identificación mediante fotografías del deterioro de algunos de sus componentes:

Río San José: puente localizado en la sección de control Río Frío-La Vuelta de Horquetas. Presenta una estructura con cercha de paso inferior (acero), con una longitud total de 48,25m y un ancho de 3,1m. Dicho puente cuenta con restricciones de carga (20T), altura (4,5m) y ancho (3,1m), las cuales son importantes de considerar para mantener el buen estado estructural.

El puente sobre el Río San José tiene una superestructura conformada por nueve vigas simples de acero en sección C (vigas principales) y cinco vigas discontinuas de acero en sección I.

Entre los demás elementos de la superestructura se tienen las juntas, que en este caso son del tipo “abiertas” y losetas de concreto de 20cm de espesor.

Por otro lado, la subestructura está compuesta por dos bastiones de concreto de tipo “marco rígido” y apoyos fijos en ambos extremos.

Antes de mencionar los daños encontrados en las visitas de campo, es importante señalar que a esta estructura ya le realizaron trabajos de reforzamiento en el perímetro de la cercha, cuerda inferior y en el refuerzo de las vigas transversales principales del puente. Los trabajos consistieron en soldar una sección de viga I de 20x10cm, para el perímetro de la cercha y las vigas. Además, se reparó el sistema de arriostamiento superior, soldando platinas para ubicar los elementos en su lugar y, de este modo, lograr que la estructura adquiriera mayor rigidez y permitiera el óptimo funcionamiento.

A continuación se mostrarán mediante fotografías las representaciones más destacadas de los problemas encontrados en este puente.



Figura 143. Vista general del puente sobre el Río San José.



Figura 144. Vista inferior del puente.

Como se observa en las figuras 145, 146 y 147, el deterioro de este puente se debe principalmente a la falta de mantenimiento a los diferentes elementos de acero que componen la estructura. A pesar de los trabajos realizados, el puente continúa sufriendo problemas de corrosión y oxidación, los cuales desgastan y alteran el estado original del elemento, provocando la fatiga y con ello la rotura de las conexiones.



Figura 145. Corrosión y oxidación en el punto de apoyo de la estructura.



Figura 146. Detalle de la corrosión y oxidación de las vigas.



Figura 147. Alto grado de corrosión en las vigas transversales

En la imagen se aprecia el irrespeto a la restricción de carga, lo que provoca

sobreesfuerzo de los componentes de superestructura y subestructura. Por esta razón, con el paso del tiempo, los elementos de acero y de concreto (bastiones y losetas), presentan diferentes daños, para los cuales resulta difícil considerar simples "reparaciones", por lo que se deberían de llevar a cabo reforzamientos con altos costos a nivel económico o constructivo.



Figura 148. Irrespeto a la restricción de carga.

Ruta 126

En esta ruta, hasta la fecha, se han analizado las infraestructuras viales del Río Cariblanco y el Río María Aguilar.

Las inspecciones realizadas, al igual que en todas las demás estructuras, resultaron ser uno de los métodos más importantes para el diagnóstico de los puentes en la Zona 6-1, San Carlos Este.

A continuación se describirán las características de ambos puentes y la identificar mediante fotografías del deterioro de algunos de sus elementos:

Río Cariblanco: la estructura se ubica en la sección de control Cariblanco- San Miguel. Con una longitud de 21,7m y un ancho de 4,3m, este puente se compone por dos cerchas de paso superior, una losa de 15cm de espesor y juntas selladas en ambos extremos. Por otro lado, posee dos bastiones de concreto tipo voladizo y apoyos fijos.

Dicho puente presenta deterioro por falta de mantenimiento, ninguno de estos problemas

compromete la capacidad de soporte de la estructura.



Figura 149. Vista general del puente sobre el Río Cariblanco.

Entre los problemas característicos de las estructuras de acero están la corrosión y oxidación de la armadura, lo que implica la necesidad de realizar trabajos de mantenimiento para evitar la reducción de área en los perfiles de acero presentes en la cercha. En las figuras 150 y 151 se observan los problemas descritos.



Figura 150. Vista inferior del puente.



Figura 151. Problemas de corrosión y oxidación en los apoyos y armadura.

La filtración de agua que cubre toda la pared frontal y la viga cabezal, debido al faltante de elementos que conforman las juntas selladas.

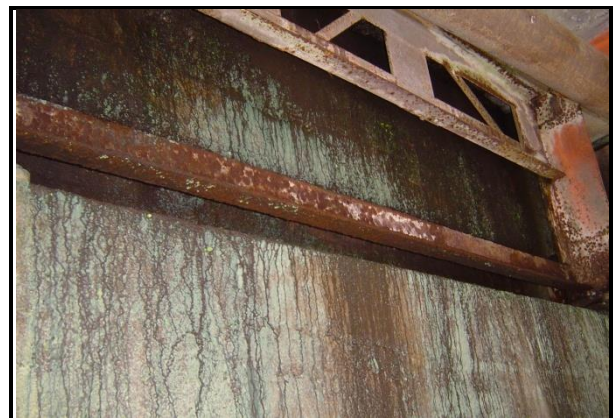


Figura 152. Filtración de agua a través de las juntas.

Río María Aguilar: con una estructura de 15,75m de longitud y 4,3m de ancho. Se encuentra localizada en la sección de control Cariblanco-San Miguel. Este puente cuenta con dos cerchas tipo "paso superior", además de una losa de 15cm de espesor y juntas selladas en ambos extremos. La subestructura la componen dos bastiones tipo voladizo y apoyos fijos en cada punto (inicio y final de la cercha).

Este puente no presenta mayor deterioro en sus elementos de acero (cerchas), ya que se observó durante la inspección que la estructura había recibido mantenimiento (pintura), además

de trabajos en las bases del bastión (inyección de concreto).

Las fotografías muestran el estado actual (2009) del puente sobre el Río María Aguilar identificado durante las visitas de campo:



Figura 153. Vista general del puente sobre el Río María Aguilar.

En la siguiente figura se representan los trabajos realizados al bastión, específicamente en su base, mediante la inyección del concreto. De este modo se evitan los problemas de socavación que pudieran afectar la estabilidad del puente.

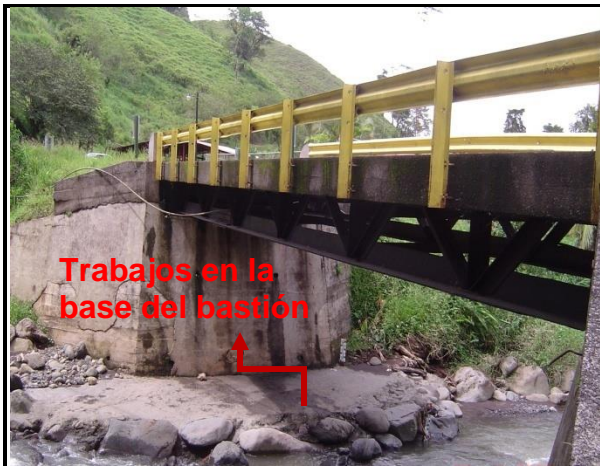


Figura 154. Vista lateral de la estructura.

La figura 155 permite observar el buen estado de las cerchas, producto de un adecuado mantenimiento, ya que se eliminan la corrosión y

oxidación mediante aplicación de un sello negro, con el fin de ayudarlas a soportar las condiciones severas de humedad.



Figura 155. Vista inferior, detalle de las cerchas.

Al igual que en la figura 152, la filtración de aguas a través de las juntas del tipo selladas, también se representa en la siguiente:



Figura 156. Filtración de agua a través de las juntas.

A continuación, se presenta la deformación de las barandas flexbeam, provocada por la pérdida de funcionalidad de los postes. Esto ocasiona el desplazamiento de parte del sistema de barandas. A estos problemas de mantenimiento en la baranda se une el deterioro por corrosión y oxidación.



Figura 157. Deformación de la baranda tipo flexbeam.



Figura 158. Vista general del puente sobre Quebrada Grande.

Ruta 505

En la ruta 505 se realizó la inspección del puente Quebrada Grande. Mediante la visita se analizó el grado de deterioro de los elementos de la subestructura y superestructura.

A continuación se describirán las características del puente y mediante fotografías se ilustrará el deterioro de sus elementos:

Quebrada Grande: la estructura tiene una longitud de 12,5m y un ancho de 4,3m. Se localiza en la sección de control Puerto Viejo-Estero Grande.

Este puente se compone de cuatro vigas de acero con sección I de 60cm de peralte, una losa de 20cm de espesor y juntas abiertas en ambos extremos.

Por otro lado, están los bastiones de concreto tipo "voladizo" y los apoyos fijos en la entrada y salida, estos componentes forman parte de la subestructura del puente.

Predomina el deterioro sufrido por las estructuras de acero, como producto de la falta de mantenimiento.



Figura 159. Vista lateral de la estructura.

Obsérvese en la siguiente figura el grado de corrosión y oxidación que generan el deterioro de las vigas principales de acero. Estos problemas se deben principalmente a las condiciones climáticas que alteran el estado original del elemento, provocando en varias ocasiones que la corrosión conlleve a la reducción de área en la sección I de la viga simple. No obstante, la humedad y lluvia no son los únicos causantes de dicho deterioro, ya que el humo de los carros, productos químicos y otras actividades humadas, son causantes del daño en los diversos componentes que conforman la estructura.

Este tipo de deterioro en la superestructura puede llegar a comprometer la función soportante del puente, ya que las vigas son elementos encargados de resistir las cargas de los demás elementos de la subestructura.



Figura 160. Vigas laterales de acero con oxidación-corrosión.

De igual manera, las barandas del puente presentan varios defectos, como la deformación de los elementos, corrosión y oxidación. Por motivos de seguridad y de brindar un buen servicio a los usuarios es importante mantener en buen estado el sistema de barandas.



Figura 161. Pérdida de sección en los postes de la baranda.

En el caso de este puente, es necesario efectuar una serie de mantenimientos en la pintura, limpieza y lavado de aquellos elementos con problemas graves de corrosión.

Ruta 250

En la ruta 250 se realizó la inspección del puente Río Tres Amigos: mediante la visita se

analizó el grado de deterioro de los elementos de la subestructura y superestructura.

A continuación se describirán las características del puente y, mediante fotografías, se ilustrará el deterioro de sus elementos:

Tres Amigos: el puente se localiza en la sección de control Los Chiles de Aguas Zarcas-Pital. Presenta una longitud de 47m, la cual se divide en dos tramos de 24m cada uno y un ancho de 8,5m. En este caso la losa no tiene sobrecapa de pavimento.

Las cuatro vigas simples de acero en sección I de la superestructura tienen un peralte de 1,25m; además, se tienen juntas selladas y una losa de 0,15m en ambos tramos. En el caso de la subestructura, está conformada por dos bastiones de concreto tipo "marco rígido", el bastión No.1 con una altura de 6,26m y el bastión No.2 de 6,99m; las fundaciones de ambos bastiones varían con respecto a su ancho, de forma que resultan de 2,48mx3,2m (bastión1) y de 1,6mx3,2m (bastión 2). Por otro lado, la pila en este puente es del tipo "columna sencilla" en forma de elipse de 1,58mx0,81m, una altura de 9,01m y su fundación de 3,5mx5,6m. Además, respecto a los apoyos, se cuenta con apoyos fijos en los extremos, y sobre la pila se presentan los apoyos expansivos.

Cabe destacar que las dimensiones de las fundaciones y alturas del bastión y pila se obtuvieron mediante los planos constructivos y especificaciones técnicas de dicho puente.

Seguidamente, se destacan los problemas más relevantes en la visita realizada a esta estructura:

Su problema principal radica en la socavación de uno de sus bastiones a nivel de pérdida de talud frontal y lateral, como se observa en la figura 168. Hay exposición de elementos importantes de la subestructura y es necesario realizar trabajos de recuperación del material de relleno, ya que esto podría generar un daño mayor, sobre todo en la época de invierno e, inclusive, se podría perder el relleno de aproximación al Puente, dado que este bastión (tipo Marco) no posee una "pantalla" para sostener parte del relleno en su lugar ideal. Además, se evidencia la importancia de efectuar obras de canalización para el cauce del río, así como varias obras de protección para el bastión No.2 y la Pila central de la estructura.

Igualmente, en las figuras 166 y 167, se representa cómo los elementos de acero, como son las vigas y apoyos, requieren trabajos de mantenimiento, para evitar el desarrollo de la corrosión y oxidación.

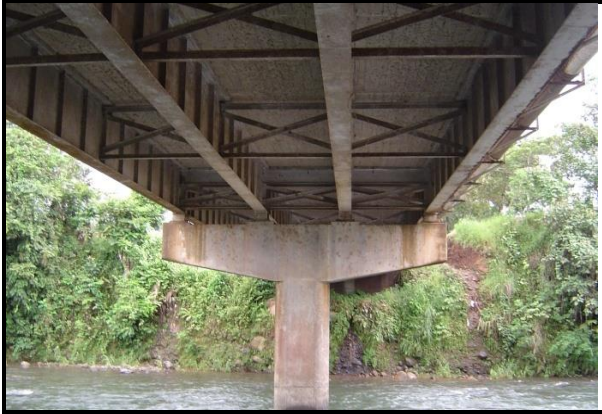


Figura 162. Vista inferior del puente Río Tres Amigos



Figura 163. Vista Lateral del puente.



Figura 164. Corrosión y oxidación de las barandas tipo flexbeam.



Figura 165. Detalle de grietas en la losa, así como la filtración de agua.



Figura 166. Corrosión y oxidación en las vigas principales.



Figura 167. Corrosión y oxidación de los apoyos fijos en la estructura.



Figura 169. Desgaste del cuerpo de la pila, provocado por la acción del agua.



Figura 168. Pérdida del talud, debido a la falta de una pantalla que retenga el material.

Análisis de Resultados

Inicialmente, para desarrollar el proyecto fue preciso estudiar manuales y procedimientos para inspeccionar puentes; tal es el caso del *Manual de Inspección* usado en Costa Rica y el utilizado en Perú. Se escoge el último con el objetivo de plantear una comparación entre los manuales de países en condiciones de desarrollo similares; ya que, alrededor del mundo existen múltiples políticas de mantenimiento de infraestructura; pero, se debe tomar en cuenta que muchas de estas políticas fueron establecidas inicialmente en países desarrollados, como los Estados Unidos, donde en la actualidad se emplean procedimientos y protocolos de análisis con una diferencia muy marcada con respecto a países subdesarrollados o en vías de desarrollo como Costa Rica.

Por tal motivo, se opta por una comparación entre países de un nivel económico parecido, con el fin de obtener una idea más equilibrada de la condición de evaluación de infraestructura a nivel nacional. Luego de haber procesado la información, se identifican algunas de las semejanzas y diferencias, que en la mayoría de los casos muestran deficiencias en los métodos nacionales.

Se pueden resaltar los problemas en las inspecciones, puesto que en el sistema nacional únicamente se llevan a cabo con métodos visuales. Es decir, no se utilizan procedimientos físicos (como es llamado en Perú), con los cuales se pueda conocer la verdadera deficiencia estructural. De la misma forma sucede con los elementos sumergidos y los demás componentes que se encuentren alejados de las observaciones visuales; tal es el caso de los apoyos, que normalmente se encuentran a gran altura (sobre las pilas).

Lo anterior está plenamente relacionado con la falta de equipo para las visitas de campo, de modo que la responsabilidad recae directamente sobre la Dirección de Puentes del MOPT, porque esta entidad debería tener a disposición de los entes de evaluación el equipo y

el personal capacitado para el manejo de cada dispositivo. Así las cosas, cada organismo de inspección tendrían a disposición mecanismos especializados, como una grúa o brazo mecánico, en caso de necesitar una inspección mucho más detallada y confiable. En este caso, esta solicitud podría ser realizada con anterioridad y para ello el inspector tendría que realizar visitas preliminares para estudiar la condición del puente y proponer un estudio mucho más profundo, con la ayuda de ingenieros del MOPT, especialistas en el campo. Otra solución, dentro de las posibilidades de mejoramiento en cuanto a los equipos especializados, está en destinar un presupuesto a cada organismo de inspección, con el fin de que los mismos adquieran las herramientas mencionadas.

Perú, por su parte, mantiene técnicas de inspección, tanto visuales como físicas, las cuales son indispensables en la detección de daños y su profundidad. Por este motivo es importante que el país implemente estas técnicas, con el fin de mejorar el desarrollo de cada método empleado.

Para llevar a cabo el diagnóstico de los puentes en la Zona 6-1, San Carlos Este, fue necesario cuantificar y cualificar los daños de cada uno, ilustrando mediante gráficos los problemas que sufren los elementos, como la losa, vigas de concreto, vigas de acero, barandas (concreto y acero), rotura de elementos de acero, además de la socavación local y general.

Las representaciones gráficas tienen el propósito de ofrecer un enfoque global del deterioro actual (2009) sufrido por la infraestructura, debido principalmente a la falta de compromiso por parte de las instituciones públicas, responsables de procurar una condición de servicio estable en cada uno de los puentes que conforman la red vial nacional. A pesar de la existencia de los programas de inspección, no se tiene el control suficiente del manejo de los datos de campo, ya que en la mayoría de las veces se

hace caso omiso de los inventarios y avisos realizados por parte de las empresas, las cuales tratan de cumplir con el objetivo del programa, es decir, determinar del grado de deterioro que sufre cada elemento y el puente en general.

Mediante este trabajo se dará a conocer el deterioro de las estructuras presentes en las diferentes rutas, señaladas en la sección de resultados.

En la figura 170 se brinda un enfoque general de los problemas más destacados durante las giras de inspección. Como se

muestra, se tienen 14 puentes con deterioro en los apoyos, provocado por los agentes climáticos (humedad) que conllevan a la corrosión severa de los elementos. Igualmente, un daño que destaca en la figura es la socavación local, la falta de mantenimiento de las barandas flexbeam y los elementos de acero en vigas, cerchas, entre otros.

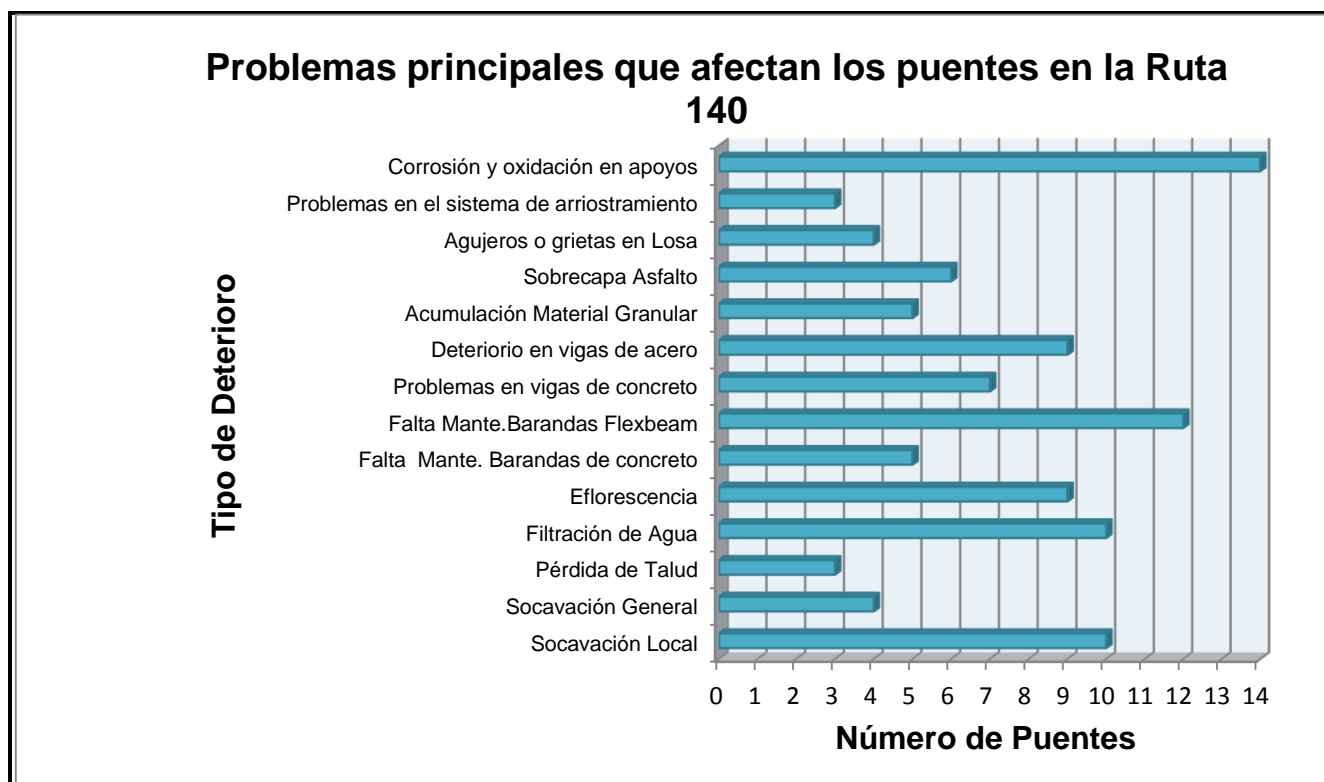


Figura 170. Resumen de los problemas más característicos en los puentes inspeccionados en la Zona 6-1 San Carlos Este.

Según la recopilación de datos realizada, se tiene que el mayor daño sufrido por las estructuras radica en la corrosión y oxidación de la mayoría de los elementos, principalmente los apoyos. Le sigue la falta de mantenimiento en las barandas, que representan un peligro para los usuarios. Finalmente, problemas de socavación en los bastiones y filtración de agua, seguido de muchos otros desgastes ocasionados por el deterioro constante y falta de mantenimiento.

Con el propósito de informar a la Dirección de Puentes del MOPT sobre el deterioro que sufren las estructuras, se realizaron análisis técnicos para brindar soluciones a aquellos puentes que presentan un daño comprometedor para el comportamiento estructural.

Para analizar la afectación de cada una de las estructuras sus problemas se dividieron en grupos de trabajo dependiendo de las propuestas para brindar solución.

Como se señaló en varios apartados anteriores, durante las inspecciones se encontraron puentes en los cuales era necesario un control de reforzamiento o readecuación y otros en donde hacía falta el mantenimiento de los elementos, para evitar un mayor desgaste de sus diferentes secciones.

Como explicación general, la socavación es provocada por las características del cauce. Como se sabe, la profundidad de socavación es difícil de estimar con seguridad. Esta dificultad se debe a la variación y complejidad a corto plazo del problema, en donde se provoca la degradación debido a que los flujos son inestables y las características dinámicas y geométricas del mismo son complejas.

El problema interactúa con mezclas variadas de sedimentos, cuyos rangos van desde arenas aluviales¹⁰ hasta arcillas y rocas meteorizadas¹¹. Es claro que durante una creciente sus características pueden cambiar drásticamente y de manera aleatoria; por esta razón ocurren complicaciones ya que la variación de formas, alineamientos y posiciones usadas para la subestructura y por la presencia de desechos flotantes y basuras atrapadas, hacen que cambie la geometría y el patrón del flujo, afectando de una forma más acelerada a las subestructuras y las condiciones de estabilidad de los Puentes en general.

La socavación total se categoriza en socavación general y socavación localizada, dependiendo de su profundidad total en la fundación de un puente.

La socavación local es causada por la interferencia de la fundación del puente con el flujo e incluye la socavación en estribos y en pilas.

Para iniciar con las observaciones, se señalaron los problemas de socavación local (específicamente en bastiones) en las figuras 19, 24, 25, 32, 37, 38, 62 y 142. Esta es una de las situaciones más características de deterioro presente en las subestructuras de los puentes. Por eso, es necesario reforzarlos mediante técnicas, evitando la vulnerabilidad y ofreciendo

capacidad o resistencia para responder adecuadamente a las acciones del medio.

Con el transcurso del tiempo, el desgaste de las bases de cada uno de los bastiones continuará desarrollándose. Esto ocasiona la pérdida de estabilidad, exponiéndose a posibles asentamientos que originen la reducción de capacidad ante las cargas aplicadas sobre la estructura, ocasionando así problemas, como se presenta en la figura 19, en donde el asentamiento diferencial se evidencia mediante una fractura (grieta) en el aletón de la estructura. El asentamiento diferencial ocurre cuando un lado de la estructura se asienta mucho más que otro, haciendo que la estructura se incline, provocando sobreesfuerzos sobre zonas específicas y, en casos concretos, la aparición de grietas, las cuales, dependiendo de su ancho, reflejan el peligro de colapso de la estructura.

En el caso de la socavación general, ésta se categoriza en socavación a corto y largo plazo. La socavación a corto plazo evoluciona durante crecientes que se presentan en un tiempo cercano, en el cual ocurren cambios en la curvatura del canal, ramificaciones, así como socavación por la migración del lecho.

Con respecto a la socavación general a largo plazo, ésta es provocada en escalas de tiempo de varios años, en donde la disminución general del lecho del río en el sitio del puente es ocasionada principalmente por los cambios hidrológicos y geomorfológicos, como por ejemplo deslizamientos, los cortes de cuellos, flujos, cambios climáticos. No obstante, los cambios naturales, junto con las actividades humanas como el dragado del canal, rectificación, deforestación, entre otros, forman parte de la degradación progresiva. La degradación progresiva es parte del incremento general del lecho en el sitio del puente, el cual se combina con una insuficiente área hidráulica, por el inadecuado galibo o luz del puente.

Los problemas de socavación general se observan en las figuras 70, 100 y 101, donde el efecto recae sobre los márgenes del río provocando el desgaste del terreno.

La complicación que acarrea este tipo de socavación, como se indicó anteriormente, está en el aumento del área hidráulica, originando la disminución en la luz del puente en comparación con la presentada en un momento determinado de servicio, falseando así las bases del puente y, con esto, llevándolo al colapso.

¹⁰ Material transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua.

¹¹ Son fragmentos de roca, los cuales se disuelve, se descompone, se forman en nuevos minerales.

Los puentes de las rutas 4,140 y 141, en estos momentos se encuentran habilitados, tanto para el paso de vehículos livianos, como para los de carga pesada. A pesar de esto, es trascendente destacar que los problemas de socavación local en los estribos de las estructuras son considerables, lo cual podría traer serias consecuencias, ya que con este tipo de daño, el bastión podría sufrir asentamientos y provocar el cierre de la ruta, pérdidas comerciales, altos costos de rehabilitación o, en el peor de los casos, accidentes de tránsito que impliquen pérdidas humanas.

El buen funcionamiento de los puentes implica el mantenimiento del desarrollo comercial en las diversas zonas, así como la seguridad de las personas que frecuentan las rutas. Es necesario reforzar y readecuar, tanto los bastiones, como los márgenes del río y evitar los altos costos de rehabilitación ante un posible colapso estructural.

Por esta razón, en el caso de los bastiones, como medida más factible se propone el refuerzo de la fundación, mediante la inyección de concreto clase "A", con una resistencia a la compresión de 225 kg/cm²; incluyendo un aditivo especial de fraguado, dadas las condiciones de humedad por la cercanía obvia del cauce del río. Para esto es necesario realizar la sustitución del suelo, por debajo de las placas de cimentación, con el objetivo de evitar la presencia de material orgánico mientras se realiza el relleno con lechada en las cavidades generadas por la socavación local de los bastiones.

Con respecto a la colocación del concreto, se propone el uso de equipo de bombeo (una bomba estacionaria), considerando la distancia hasta el sitio de inyección.

Para realizar la inyección del concreto se recomienda proteger perimetralmente las placas, utilizando el material granular proveniente del río o gaviones convencionales (dependiendo de la comodidad y factibilidad).

Finalmente, resulta favorable realizar una berma alrededor de la placa de fundación, con el fin de prevenir futuros problemas del mismo tipo en los estribos. Lo mencionado se puede observar en los dibujos del **Anexo 12**.

En la figura 81, se puede observar este tipo de reforzamiento, efectuado en los bastiones del puente sobre Quebrada El Palo, el cual sufrió un colapso que propició el cierre parcial de la ruta para su inmediato reforzamiento.

Esta estructura presentó problemas producto del asentamiento diferencial (ver figura 80), además de la fractura del aletón. Actualmente, varios de los bastiones de las rutas sufren de este daño. Como respuesta fue necesario llevar a cabo trabajos de inyección de concreto en la base del bastión, además de un levantamiento en las vigas con perfiles de acero.

Consiguiente a la socavación general, se mantiene como alternativa impedir el aumento del cauce utilizando material granular encontrado en el río y trasladarlo a sus orillas, con el fin de lograr un trasiego más controlado.

Como se ve en las figuras 99 y 100, la acumulación de material granular en la parte central del lecho provoca el desvío y, con esto, el desgaste de los bordes. Por esta razón la colocación de gaviones convencionales o el mismo agregado del río, resulta una de las opciones más factibles y prontas a efectuar, ya que, como se ve en la figura 101, este problema además recae sobre el relleno del bastión, producto del aumento del área hidráulica, el cual en algún momento superará las condiciones de diseño del puente y con esto provocará mayores daños y costos de reparación.

Por otro lado, se identificaron los problemas en las vigas de concreto, sufridos en gran parte de los puentes, como en su momento se ilustrara mediante imágenes. Para realizar las propuestas de reforzamiento o readecuación de los elementos de concreto, los puentes se dividieron en dos grupos, el primero lo componen los representados mediante las figuras 16, 17, 18, 42, 43, 44, 45 y 46, el segundo conjunto de análisis corresponde a las imágenes 22, 30, 31 y 36.

En lo que respecta a las vigas de concreto simple, es importante señalar que en la actualidad estos elementos sometidos a flexión, presentan importantes deficiencias en las zonas de resistencia en tensión, en comparación con las zonas de resistencia a compresión, puesto que es común observar fallas (grietas), como lo son la caída del recubrimiento, con la consecuente exposición al ambiente y, por ende, la afectación por corrosión y oxidación de las varillas de reforzamiento.

Se debe considerar que, a pesar de que el refuerzo se mantiene en el extremo en tensión de la viga y aún cumple con su función de soporte de tales cargas, es esencial mantener un recubrimiento básico para protegerlo, tanto de la

corrosión como de otros agentes dañinos como los gases generados por los vehículos y la humedad, ya que las vigas de concreto, al presentar este tipo de deterioros, se enfrentan a una significativa o muy posible reducción de capacidad; esto debido a que, conforme se generan incrementos graduales de cargas, los elementos pueden alcanzar el estado de falla o presentar diferentes cambios en el comportamiento.

Los problemas en este caso radican, en el descascamiento del concreto (en vigas), como se mencionó anteriormente la capacidad de resistir flexión presenta deficiencias, razón por la cual los esfuerzos de tensión recaen sobre las barras de acero longitudinales y en el caso de los esfuerzos de tensión inclinados causados por las fuerzas cortantes de las vigas son resistidos por el acero transversal (aros). Para lograr que el refuerzo actúe de forma efectiva, es indispensable una adherencia perfecta entre el concreto y el acero, y de este modo evitar los movimientos relativos entre las barras de acero y el concreto circundante.

No obstante, se puede observar en las figuras que las vigas de concreto tienen el acero expuesto, por lo tanto se encuentran afectados por los fenómenos climáticos, ocasionando así la oxidación y corrosión, lo que de una u otra forma conlleva al desgaste del material, provocando así la fatiga del elemento, ya que en el caso de los puentes vehiculares, tanto el acero como el concreto se encuentran sometidos a un gran número de ciclos de esfuerzos.

Los efectos de corrosión en las situaciones presentadas reducen el área de la sección transversal de la barra, hasta provocar que ésta sea demasiado pequeña para resistir la fuerza aplicada, y lleva consecuentemente a una falla de manera súbita y frágil.

Las soluciones a los problemas de las vigas de concreto dependen propiamente del estado de servicio en que éstas se encuentren. En el caso de los elementos señalados en las figuras del segundo grupo, es necesario realizar únicamente mantenimiento mediante la limpieza del acero para eliminar el óxido presente en la armadura. Se requiere el montaje de andamios y plataformas, con las cuales se pueda realizar la limpieza del óxido con chorro de arena (sandblasteado), para así eliminar las secciones del acero que se encuentran bajo corrosión.

Es importante que el acero quede libre de polvo o cualquier otro contaminante, para continuar con la readecuación y recuperar el recubrimiento perdido. En este caso, se propone un adhesivo epóxico estructural (mortero epóxico), el cual es insensible a la humedad y capaz de adherir concreto nuevo a concreto existente o a otros materiales estructurales como el acero.

Cuando las vigas de concreto presentan problemas de agrietamiento, es importante realizar un estudio de capacidad, para observar si el refuerzo principal (torón) ha sufrido problemas, lo mismo que el refuerzo secundario, como se presenta en las imágenes del primer conjunto. Con este estudio será posible realizar trabajos iguales a los de mantenimiento del acero expuesto, descrito anteriormente. Luego de realizar el tratamiento adecuado del acero oxidado y corroído, se propone realizar un encamisado de la viga, con el fin de recubrir el acero longitudinal y transversal original; así se eliminan las posibilidades de oxidación y corrosión de dicho material, además de colocar un segundo conjunto de acero de refuerzo que sea capaz de recuperar la resistencia del elemento ante esfuerzos cortantes y a flexión, evitando el colapso del elemento. En los **Anexos 13y14**, se pueden observar los detalles mencionados para dar reforzamiento a las vigas de concreto.

Otro aspecto que se consideró como solución para el reforzamiento de las vigas de concreto que se encuentran con mayor deterioro, es la utilización de fibras de carbono. Éstas permiten incrementar la capacidad de los elementos, sin necesidad de variar sus características dimensionales. Estas placas flexibles y delgadas se instalan mediante la aplicación de un epóxico adhesivo que facilita la colocación y, por otro lado, es capaz de incrementar la capacidad de sobrecarga de uso en estructuras ya existentes.

Es muy importante considerar que cuando se utilizan fibras de carbono como refuerzo externo a un elemento de concreto, la ductilidad de éste disminuye, debido a la rigidez que las fibras le aportan. Por eso es esencial colocar únicamente el refuerzo adecuado para resistir o contribuir a la resistencia de esfuerzos y no exceder su uso, puesto que al disminuir la ductilidad del elemento se esperaría una falla frágil en el mismo, lo que no es adecuado en un

componente que forma parte de una estructura sísmo resistente.

Hay que señalar que las fibras de carbono son una solución que no ha sido usada en el país. A pesar de ser una opción novedosa y costosa, forma parte de una iniciativa técnica importante para trabajos de reforzamiento en diferentes estructuras de la Zona 6-1, San Carlos Este y otros sectores del país.

Este sistema ha sido utilizado en muchos lugares del mundo (Colombia, Estados Unidos, Eslovenia, Suiza, Alemania, entre otros), con el fin de proporcionar el reforzamiento sísmico, además de reforzamiento por cortante y flexión. La factibilidad del método, tanto en puentes de concreto como de madera, proporciona su flexibilidad de uso; por otro lado, con su utilización no se afectan las dimensiones (aumento de sección) de los elementos.

En el caso ilustrado con la figura 30, se necesita reubicar la tubería de PVC, colocada abruptamente en las cinco vigas de concreto. La alternativa para evitar futuros daños en la estructura es instalarla en otro lugar.

Cabe resaltar que se informó a la Municipalidad de San Carlos acerca de los inconvenientes que afectan las vigas principales y para proponer la construcción de un sistema suspendido capaz de mantener estable la tubería; sin interrumpir el servicio de agua potable y sin afectar, en ningún grado, la condición de la superestructura de concreto. A la fecha no se ha recibido respuesta, por lo que se insiste en su intervención para gestionar el retiro de esta tubería.

Por otro lado, es recomendable readecuar todas las vigas que fueron "picadas" durante la instalación de la tubería, para evitar la exposición del acero y por ende su corrosión. Se debe realizar una limpieza a fondo de la varilla de acero y seguidamente utilizar un adhesivo epóxico de uso estructural, que funcione como base para elaborar morteros y así reparar las secciones expuestas.

En el deterioro de los elementos, otro punto de análisis está determinado por el tipo de material que conforma la estructura del puente, los diferentes efectos dependen de si se usa concreto o acero. En este caso se comentarán los daños ocurridos en las vigas de acero y las soluciones para los elementos de acero.

Como se puede observar en las imágenes del puente sobre el Río Caño Grande

figuras 68, 69, 71 y 72; seguidas del puente sobre el Río Toro, figuras 78 y 79; el Río Sarapiquí, figuras 124, 125, 126 y 127, el Río La Vieja figuras 135 y 136; Río Peje, figuras 140 y 141; el Río San José, figuras 145, 146 y 147 y, finalmente, los problemas de mantenimiento en el Puente del Río Cariblanco, figura 160. En cada uno de los elementos destacados mediante las fotografías, se destaca el desgaste ocasionado por los fenómenos ambientales que originan la oxidación y corrosión de gran parte de las secciones de acero (cercha, vigas, apoyos, entre otros.). Por eso, es necesario tomar medidas de mantenimiento que eviten la reducción y rotura en los elementos o conexiones del sistema de arriostramiento.

Como es característico cuando la corrosión aumenta, los elementos pierden parte importante de sus secciones, con lo que disminuye el área efectiva que soportará los esfuerzos aplicados, en forma regular en el caso del peso propio de la estructura y en forma cíclica en el caso de la circulación de vehículos. Lo anterior da paso a la posibilidad de falla por fractura o por fatiga de los elementos, debido a la disminución de las capacidades estructurales para las que fueron diseñados.

Los métodos de mantenimiento en las superestructuras de acero, pretenden que el sistema de arriostramiento, cerchas, vigas y apoyos, se encuentre en un estado recomendable para su funcionalidad óptima. El fin de la readecuación de los componentes de acero está en evitar la presencia permanente de humedad en zonas determinadas de la estructura, causante de problemas de oxidación y corrosión. Por eso se requiere, es por esta razón se debe eliminar el óxido presente en la armadura, mediante el montaje de andamios y plataformas, con las cuales se pueda realizar la limpieza del óxido con chorro de arena y luego aplicar la protección a la superficie con minio rojo, y, posteriormente, aplicar las capas de pintura adecuadas para el tipo de protección que se requiera generar en la superestructura. Este tipo de solución es aplicable para cada uno de los casos en donde se observa faltante o problemas de pintura o en donde la oxidación-corrosión está generando un desgaste leve en la estructura (sin pérdida de sección en el elemento).

Hay situaciones en las cuales el sistema no admite ningún tipo de mantenimiento y es necesario sustituir algunos de los elementos con

el fin de aumentar las condiciones de servicio y evitar situaciones críticas dentro del funcionamiento del puente. Es el caso de los trabajos realizados en el puente sobre el Río San José. Como se comentó en resultados, esta estructura recibió sustitución de elementos producto de su fatiga, los cuales nuevamente presentan ese problema. Por medio de la observación se identificó que, posterior a los trabajos de sustitución, aparecen corrosión y oxidación en secciones de acero, como se presenta en las figuras 145, 146 y 147. Estas secciones requieren un mantenimiento a mediano plazo, ya que, a pesar de encontrarse habilitado al paso de vehículos, presenta una restricción de carga que, en muchos casos, no se respeta, por lo que los elementos sufren mayores esfuerzos de acuerdo con su capacidad soportante.

Es necesario destacar la importancia de cada elemento para el funcionamiento integral de la estructura. En este sentido, tanto los apoyos como las vigas de acero son indispensables y, por esta razón, los problemas de corrosión presentes en vigas, pernos y placas de los apoyos, deben ser controlados mediante procedimientos de mantenimiento o, en la peor de las situaciones, mediante restitución.

Como generalidad, los puentes de la Ruta 140 cuentan con problemas en sus barandas de concreto, como el agrietamiento, descascamiento del concreto y mal estado en parte de los tramos, ver por ejemplo las figuras 29 y 41, entre otras; esto debido al impacto de los vehículos (particularmente aquellos que transportan carga pesada). Por medio del análisis realizado se propuso realizar la sustitución del sistema de concreto y colocar barandas tipo flex-beam, con el fin de reducir el peso sobre la estructura. Muchos de estos puentes cuentan con sobrecapas de asfalto, las cuales generan pesos mayores a la carga de un vehículo, ya que, dependiendo del espesor, longitud, ancho y densidad de la mezcla, es posible estimar el peso total que la sobrecapa ejerce sobre el puente. Para evitar estas sobrecargas, se propone la demolición de todas las barandas de concreto y posterior colocación de barandas tipo flexbeam, con pintura anticorrosiva y retro-reflectora. Este aspecto se debe destacar no sólo desde el punto de vista del mantenimiento de los accesorios de la superestructura, sino también por los antecedentes y posibles demandas contra la Administración, a causa de la generación de

incidentes provocados por el mal estado de dichas barandas.

En el caso directo de los elementos tipo flexbeam, es necesario realizar trabajos estrictamente de mantenimiento, ya que los postes se encuentran deformados (golpe de vehículos), oxidados y corroídos. Las figuras 20, 23, 52, 86, 87, 93 y 123 ilustran algunos de los ejemplos de las barandas flex-beam, que requieren de un mantenimiento o, en caso de deformación, sustitución de algunas secciones.

Este aspecto se debe tomar en cuenta (como se mencionó anteriormente) no sólo desde el punto de vista del mantenimiento de los accesorios de la superestructura, sino por el interés de los usuarios que transitan las diferentes rutas.

Uno de las estructuras más dañadas con el paso de los años y de los vehículos de carga pesada es el Puente sobre el Río Platanar. Aunque en la actualidad se encuentra en servicio, las condiciones de los elementos no son óptimas y, en el caso de la losa, presenta severos problemas como exposición del acero, agujeros y grietas. Los bastiones y vigas presentan deterioro, el primero sufre de socavación local y el segundo descascamiento del concreto, cada aspecto es presentado mediante las figuras 54, 55, 56 y 57.

La construcción de un nuevo puente debe garantizar un mejor funcionamiento, pues, en este caso, el ancho y galibo hidráulico del Puente sobre el Río Platanar afecta constantemente, ya que el flujo del cauce es superior al considerado en el diseño (ver figura 53). Esto provoca daños tanto en la superestructura como en la subestructura. Los daños arrastrados a través de los años, conforme ocurrían las crecientes del río, aunados a la falta de mantenimiento y el aumento constante de los vehículos que transitan por la vía (no fue diseñado para la demanda actual) Han desgastado cada uno de los elementos y con ello de forma global el sistema.

En relación con el puente sobre el río Caño Grande, los problemas que presentan su losa de concreto y sus elementos de acero, ya han sido objeto de propuestas de solución. Su deterioro se debe principalmente a la fatiga del concreto, por esta razón, Ricardo¹² enfocó su tesis en la realización de tres propuesta para la solución a los problemas estructurales que

¹² Ver Referencia 5

presentaba. No obstante, como se observa en las figuras 73, 74 y 75, el puente no ha recibido ningún tipo de reforzamiento adecuado desde el punto de vista de la ingeniería y, en cambio, continuamente se le realizan trabajos temporales, sin pensar en mejores alternativas tanto para la comodidad de los usuarios que transitan la vía, como para el país en general. Cada año se reducen las inversiones destinadas al “mantenimiento”, lo que al final va a generar mayor costo que una reparación estructural óptima.

Las soluciones propuestas en la tesis mencionada fueron, la instalación de una losa de concreto colada in situ; utilizar un sistema de losas pos-tensadas y, finalmente, la colocación de una parrilla metálica. Es importante destacar la importancia de que nuevamente los ingenieros de la Dirección de Puentes estudien las propuestas, con el fin de reducir la presencia de constantes agujeros en la losa, que evidencian el mal estado del elemento.

El sistema de arriostramiento de la infraestructura (ver figura 72), presenta graves problemas de oxidación-corrosión, que provocan la rotura de elementos producto de la fatiga de los mismos. Por eso es indispensable sustituir los perfiles que estén con mayor deterioro y a los demás eliminarles el óxido, para luego efectuar técnicas de mantenimiento, mediante la colocación de pinturas anticorrosivas.

Otra estructura con defectos de diseño es el puente sobre el Río Sarapiquí. Al construirse con un sistema en voladizo presenta una particularidad funcional. Como se comentó en la sección de resultados, cuando los vehículos de carga pesada se movilizan a través de la losa, esta estructura se desplaza verticalmente 5cm. El problema del desplazamiento ocasiona que los apoyos o juntas de expansión sufran un daño constante por el impacto de los elementos.

Para esta infraestructura se han analizado muchas propuestas por parte del MOPT y la Administración de la empresa. Entre las soluciones calificadas de perentorias están los trabajos de reparación en los apoyos, donde, como se observó en la fotografía 127, uno de sus pernos perdió la función por causa del desplazamiento y golpe de las platinas, las cuales es necesario restituir y colocar otros elementos de acero de 60x60cm (placas) y colocarle pernos en cada apoyo, capaces de mantener estable el desplazamiento vertical. La pieza faltante es uno

de los problemas con mayor repercusión sobre el puente, debido a que no hay una restricción a la traslación.

Por otro lado, las juntas han sido afectadas por la misma situación, como se ve en la imagen 129. La junta de expansión perdió su condición normal, de modo que será recomendado realizar mantenimiento, colocándole un elastómero que asegure la durabilidad y funcionalidad del puente.

Un reforzamiento del puente en general se basa en adicionar elementos para aumentar su carga viva, pasando de un HS15-44 a un HS20+25%¹³, con el objetivo de mejorar la capacidad estructural y permitir el tránsito de camiones con mayor carga, sin correr el riesgo de sobreesforzar cada uno de los componentes. Es importante mencionar que las vigas están siendo dañadas por el constante levantamiento que tienen en los extremos (observar figura 126), por lo que es recomendable instalar nuevos apoyos, los cuales, al igual que las juntas, sean capaces de mejorar la durabilidad del puente y permitir la seguridad y confort de los usuarios en la vía.

Las vigas de acero de la estructura presentan deterioro causado por la oxidación y corrosión, que tienen como consecuencia la aparición de ampollas alrededor del elemento. En la fotografía 125, se muestra el grado de deterioro por corrosión que ha provocado la pérdida de sección en los atiesadores de las vigas de acero. La solución propuesta es el remplazo de los elementos afectados por nuevas placas de acero, para restaurar la condición de la etapa final, con el fin de mejorar el comportamiento estructural, al evitar el pandeo local¹⁴ en el momento de deflexión de la viga.

En lo que respecta a los bastiones y pilas, los reforzamientos a cada una de estas estructuras deben ser analizados directamente por la Dirección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, con el objetivo de obtener alternativas óptimas para diversos mejoramientos como el antisísmico. De este modo, se brinda un funcionamiento estructural capaz de permitir el servicio y estabilidad del puente ante eventos inesperados.

¹³ Camión tipo tráiler con carga en un carril y peso neto de 20 T.

¹⁴ Aparece en elementos aislados.

Cada propuesta técnica analizada para los problemas mencionados debe ser aprobada en primera instancia por la Administración de la Empresa. Posteriormente, mediante una visita de inspección detallada por parte de los ingenieros de la Dirección de Puentes del MOPT, se contaría con una evaluación de las condiciones actuales de servicio de cada uno de los Puentes y, de este modo, contar con la aprobación para ejecutar las propuestas analizadas en este proyecto.

Conclusiones y recomendaciones

En el presente trabajo se analizó como prioridad, el estado de deterioro de 33 puentes en la Zona 6-1, San Carlos Este, principalmente puentes ubicados en las rutas de asfalto. Cada uno ha sido documentado, con el fin de determinar los requerimientos de mantenimiento y proponer soluciones prácticas, que serán acciones para corregir las deficiencias de las estructuras e impedir el crecimiento de su deterioro.

Mediante las investigaciones efectuadas acerca de las normas practicadas en Perú y Costa Rica, se realizaron comparaciones relevantes entre los métodos implementados en ambos países y, de este modo, fue posible conocer el nivel de progreso con el que se cuenta en el país actualmente (2009), en lo que a análisis de puentes se refiere.

Por otro lado, con el desarrollo del proyecto se logró conocer el proceso de evaluación para determinar el grado de deterioro que afecta a cada uno de los componentes de la infraestructura de un puente. De este modo, se concluye que los métodos usados por el Departamento de Planificación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, no están suficientemente adaptados a las necesidades de las estructuras. La falta de equipo capaz de mejorar los métodos de inspección es evidente durante las labores de campo. El problema radica en que no hay un equipo apto que permita al ingeniero inspector realizar una evaluación mucho más detallada, la cual por medios físicos es muy complicada. Por ejemplo en el caso de los apoyos ubicados sobre pilas, es sumamente difícil determinar el grado de daño que presenten (corrosión, oxidación, pérdida de pernos, entre otros).

Además, se considera que la inspección bajo agua es indispensable para poder realizar una correcta valoración de la condición de las

pilas y bastiones ante la socavación. Esta acción requiere de equipo especializado y personal capacitado para su manejo; asimismo, la calificación de la estructura debe basarse en datos cuantificables y no subjetivos, recursos no manejados hasta ahora en la evaluación nacional.

Por lo tanto, se recomienda una implementación a los procedimientos de inspección visual, además de la incorporación de pruebas que permiten la detección y cuantificación de daños no detectables a simple vista, en la profundidad de los bastiones.

Para detectar estas deficiencias, es indispensable que el departamento encargado de los estudios de puentes (MOPT), tenga a disposición de los organismos de inspección, equipo con capacidad de ser utilizado para acceder a los elementos de mayor altura o a aquellos ubicados en depresiones pronunciadas, donde durante la inspección es difícil de reconocer el estado presente (daño-deterioro). Dentro de este equipo de acceso a los elementos del puente se requieren escaleras, plataformas de andamiaje, botes y brazos mecánicos que consisten en una grúa unida a una plataforma que se introduce en el puente, entre otros. En la mayoría de los casos, utilizar un brazo mecánico superior o inferior para inspeccionar la estructura implicaría menos tiempo de inspección que el dispuesto al utilizar una escalera o plataformas tipo andamio; sin embargo, los brazos mecánicos están asociados con altos costos de operación y mantenimiento de los vehículos.

La recopilación de datos es uno de los procedimientos más importantes para programar el mantenimiento o rehabilitación de cada una de las estructuras. Por lo tanto, uno de los objetivos primordiales del proyecto fue la elaboración de propuestas técnicas, en las cuales se destacan

las condiciones de los elementos, tanto desde el punto de vista de los defectos estructurales más visibles (grietas en vigas y socavación), hasta problemas de seguridad para los usuarios. En muchos de los casos, los informes enviados a la Dirección de Puentes del MOPT, fueron confeccionados con el fin de solicitar una reparación a mediano plazo y, de esta forma, evitar accidentes y gastos económicos mucho más elevados, producto de un colapso. Sin embargo, como se ha observado, la realidad nacional es otra: en Costa Rica los métodos de inspección requieren de ajustes y orden, ya que, en la mayoría de los casos, para desarrollar un inventario óptimo es necesario establecer y mantener archivos de la historia estructural, además de identificar y evaluar los requerimientos de reparación de puentes.

Las instituciones del país que se encargan de recolectar este tipo de información, no mantienen la documentación ordenada. Por eso, en la mayoría de las solicitudes efectuadas por parte del organismo de inspección, los planos y especificaciones técnicas, así como los archivos históricos de reparación de cada una de las infraestructuras, no son accesibles. Lo anterior refleja la mala administración de la información recolectada y de igual forma sucede con los inventarios confeccionados a inicio del 2009, ya que parte de este material entregado no es verificado como corresponde por los responsables de recopilar todas las guías de inspección, las cuales deben contener una información completa y detallada, esencial para el sistema de administración de puentes.

En lo que respecta a las inspecciones de puentes, éstas son realizadas con muchas limitaciones, no se consideran únicamente los faltantes de equipo, también está la escases de personal para efectuarlas, además de la falta de capacitación oportuna para desarrollar los diferentes estudios, ya que, como se sabe, el país cuenta con pocos ingenieros especialistas en análisis de puentes. Por eso es importante capacitar a los inspectores de cada zona con cursos constantes y especializados. La idea de dar curso a estas iniciativas se encuentra estrechamente unida al progreso de los nuevos métodos y soluciones, en procura de mantener un servicio y estabilidad de cada infraestructura, así como del crecimiento de profesionales en este campo.

A las limitaciones señaladas se unen los recursos económicos del país, ya que no existe un control monetario de las entradas y salidas; por lo tanto, los procesos de reparación y mantenimiento de la infraestructura se dejan en un segundo plano. De acuerdo con los acontecimientos ocurridos cada fin de año, cuando se hacen recortes de presupuesto y no se llevan a cabo las actividades programadas, es preciso proponer un partida individual al presupuesto otorgado al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, es decir a la Dirección de Puentes. Así esta entidad trabajaría con presupuesto suficiente para llevara a cabo los procedimientos de reforzamiento, readecuación, mantenimiento o reconstrucción, según los requerimientos de cada estructura.

Para concluir, es importante recalcar la necesidad de que cada organismo de inspección (divido por zonas) cuente con una división, dependiendo del tipo de estructura (concreto, acero o madera), así como de los daños y su naturaleza. Con una categorización de daños se llegará a conocer el método de reforzamiento y mantenimiento adecuado a cada situación y, de esta forma, se implementará el orden de datos por cada zona, facilitando la obtención del material respectivo para cada caso. A pesar del trabajo efectuado desde años atrás, es relevante actualizar los antecedentes cada año, con el fin de ubicar estructuras que, por razones ajenas, no fueron incorporadas en el plan de trabajo.

Como se observó en las descripciones de los puentes visitados, para elaborar el diagnóstico de daños se diagnosticaron, entre los principales problemas, la socavación en los estribos, la corrosión y oxidación en los elementos de acero, filtración de agua, entre otros. Es importante mencionar que cada uno de estos problemas puede ocasionar graves dificultades a futuro, si no se intervine mediante métodos que controlen la estabilidad y además aumenten el tiempo de servicio.

Tal como se anotó, los problemas identificados generalmente son parte de un proceso de desgaste por cargas excesivas, años de servicio de las estructuras y de la escasa o nula cultura de mantenimiento.

Finalmente, se recomienda establecer la importancia de la inspección en la infraestructura nacional, ya que cada uno de los puntos señalados, son temas alejados del alineamiento social, donde los organismos encargados de

crear conciencia de la realidad que se vive no son consistentes en sus programas y dejan de lado situaciones considerables que impiden el desarrollo del país, pues el colapso de cualquier estructura lleva consigo no sólo pérdidas económicas, sino la paralización de los sectores

aledaños a la zona como hospitales, educación, fuentes de trabajo, entre otros.

ANEXOS

En primer lugar se presentará un ejemplo del puente formulario de inspección, utilizado en el diagnóstico del deterioro de puentes. Esta guía de inspección está localizada en el Manual de Inspección de Puentes.

Posteriormente se mostrará un mapa general de las rutas de asfalto encontradas en la Zona 6-1, con la respectiva ubicación de las estructuras. De la misma forma, en este apartado se ubicará la tabla resumen de los problemas de cada puente, descripciones, tipo de material, etc.

Además, se incluirán los planos de diseños del puente sobre el Río Sarapiquí, con el fin de ilustrar las condiciones de diseño y los tipos de juntas de expansión en cada uno de los tramos. Estos planos fueron aportados por la Dirección de Planificación del MOPT, al igual que los de algunas de las demás estructuras.

Como sugerencia de mejoramiento, se realizaron ilustraciones, para facilitar la comprensión de las soluciones propuestas para situaciones como: problemas de socavación y el deterioro de vigas. Estos dibujos fueron realizados en GoogleSketchup, con el fin primordial de ilustrar de una mejor manera lo propuesto en secciones anteriores.

Referencias

Aguilar, I. 2009. **PROPUESTAS DE REFORZAMIENTO PUENTE SOBRE QUEBRADA DEL PALO.** Informe Sistema de Administración de Puentes.

Consultas técnicas realizadas al Ing. Mauricio Carranza.

Consultas técnicas realizadas a la Inga. Illeana Aguilar.

Consultas técnicas realizadas al Ing. Didier Esteban Rojas

Herrera, R. 2006. **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA REPARACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CAÑO GRANDE EN VENECIA DE SAN CARLOS.** Informe Final de Graduación. Universidad de Costa Rica. 2:15p.

Lizano, R. 1999. **ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN DE PUENTES EN COSTA RICA.** Informe Final de Graduación. Universidad de Costa Rica. 1:41p.

MOPT. 2007. **MANUAL DE INSPECCIÓN DE PUENTES EN COSTA RICA.** Primera Edición. Costa Rica. 1:117p

MTC¹⁵. 2006. **GUÍA PARA INSPECCIÓN DE PUENTES.** En Internet:
<http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Inspección-Puentes/Guia-para-Inspeccion-de-puentes.pdf>
{Consulta:25 Agosto. 2009}

Nilson, A. **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.** México: Editorial:Mc Graw Hill, 105:117p.

¹⁵ Ministerio de Transportes y Comunicaciones
República del Perú

El trabajo que se presenta consiste en la realización del Diagnóstico de los Puentes en la Zona 6-1 San Carlos Este, enfocando su análisis en el establecimiento de las causas del deterioro, el grado de afectación y forma de reforzamiento o readecuación de éstos. Para ello se consideró EL Manual de Inspección de Puentes, utilizado en Costa Rica.