



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Estructural

Proyecto: LM-PIE-UP-A01-2020_Versión n°. 2

ASESORÍA AL CONAVI PARA EL DENOMINADO “PROGRAMA DE INTERVENCIÓN DE PUENTES EN ESTADO DEFICIENTE”

PARTE 2: ANÁLISIS DE COSTOS DE CICLO DE VIDA



Preparado por:
Unidad de Puentes
LanammeUCR

San José, Costa Rica

Setiembre, 2020



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



1. Proyecto: LM-PIE-UP-A01-2020_Versión n.º 2		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: ASESORÍA AL CONAVI PARA EL DENOMINADO “PROGRAMA DE INTERVENCIÓN DE PUENTES EN ESTDO DEFICIENTE” – ENTREGA 2		4. Fecha del Informe Setiembre, 2020
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias <i>El presente informe corresponde a la versión n.º 2 del informe de asesoría LM-PIE-UP-A01-2020 enviado en mayo del año 2020 mediante el oficio LM-IC-D-0403-2020. En este informe se realizan algunas correcciones, entre las más importantes las siguientes: 1) Modificación de título del Cuadro 2.3 por “Costos de tiempo de traslado por vehículos por hora”; 2) Modificación de encabezado en segunda columna del Cuadro 2.3 a “€/hora”; 3) Aclaración en Apartado 2.2.3 que tanto los costos operativos por vehículo como los costos por tiempo de traslado presentados, corresponden a costos diarios; 4) Corrección de datos en la Ec.10; 5) Modificación de la Ec. 11 y la Ec. 12 al cambiar “$g_{da} * n_p$” por “VTT_u” ya que son equivalentes.</i>		
7. Resumen <i>Este informe corresponde a la segunda entrega de la solicitud de asesoría mediante el oficio DIE-02-19-0250 (24) de la Dirección Ejecutiva del CONAVI. La asesoría consiste en la colaboración del establecimiento del alcance que será solicitado a los contratistas por parte de la Administración en los carteles de licitación, para la intervención de estructuras de puentes en estado serio, alarmante o de riesgo inaceptable en la Red Vial Nacional, como parte del Programa de Intervención de Puentes en Estado Deficiente. Incluye la recomendación metodológica para realizar análisis de costos de ciclo de vida para la valoración de distintas alternativas para las intervenciones requeridas, mediante un análisis económico que permita tomar decisiones costo-efectivas en el largo plazo, por medio de incluir tanto los costos iniciales, el cual ha sido el enfoque tradicional de corto plazo, como los costos de conservación a lo largo de la vida de servicio, los costos a los usuarios, y los costos de salida de operación.</i>		
8. Palabras clave Puentes, Intervención, Análisis de Costos de Ciclo de Vida, CONAVI, Usuarios, Largo Plazo.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 55
11. Informe realizado por: Ing. Mauricio Araya Con Unidad de Puentes	12. Realizado, revisado y aprobado por: Ing. Esteban Villalobos Vega Coordinador Unidad de Puentes	13. Aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona Coordinador General Programa de Ingeniería Estructural



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Objetivo General.....	7
1.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 Alcance y limitaciones	8
2. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA INCLUSIÓN DE ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA EN CARTELES DE LICITACIÓN	12
2.1 Definición de análisis de ciclo de vida (ACCV).....	12
2.2 Recomendación de propuesta metodológica para inclusión de análisis de ciclo de vida en carteles de licitación.....	14
2.2.1 Establecimiento de requerimientos iniciales en el cartel de licitación.....	15
2.2.2 Diseño del análisis.....	18
2.2.3 Recolección de datos y estimación de costos requeridos	20
2.2.4 Cálculo del valor presente neto	24
2.2.5 Recomendación según resultados del análisis	26
2.2.6 Selección de opción definitiva.....	26
3. CASO DE ESTUDIO DE UN ACCV	27
3.1.1 Definición de necesidades de mantenimiento.....	28
3.1.2 Costos de los usuarios	31
3.1.3 Cálculo de valores presentes.....	34
4. CONCLUSIONES	36
5. RECOMENDACIONES.....	38
6. REFERENCIAS	41
7. ANEXOS.....	44



Anexo 1. Resumen de actividades de conservación de puentes y recurrencia recomendada	45
Anexo 2. Costos de operación y costos de tiempo de traslado de vehículos	51
Anexo 3. Glosario.....	54



1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la segunda parte de la asesoría que se le brinda al Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), en respuesta a la solicitud presentada mediante el Oficio DIE-02-19-0250 (24) con fecha del 28 de febrero de 2019, por medio de la cual se le pide al LanammeUCR asesoría en temas relacionados con el proyecto denominado como “Programa de Intervención de Puentes en Estado Deficiente” (de acá en adelante mencionado sólo como “proyecto”).

La respuesta positiva a dicha solicitud fue dada por medio del oficio LM-IC-D-0197-19 con fecha del 11 de marzo de 2019 por parte de la Dirección del LanammeUCR, haciendo referencia para ello a las competencias de la Ley n°. 8114 sobre la fiscalización de la calidad de la Red Vial Nacional, en donde se provee el marco legal para hacerlo.

La primera entrega fue realizada en agosto del año 2019, la cual consistió en el informe LM-PIE-UP-A01-2019 bajo el título: *Asesoría al CONAVI para el denominado “Programa de Intervención de puentes en estado deficiente” – Parte 1*. El contenido principal de dicha entrega consistió en la evaluación de distintas propuestas para la priorización de los puentes a intervenir como parte del proyecto, y a partir de lo anterior y con el objetivo de lograr la eficacia del programa, se propuso una metodología de priorización que utiliza como base la herramienta informática SAEP, pero modificándola cuando se consideró necesario.

La presente entrega, está enfocada en la elaboración de una propuesta metodológica que permita incluir como requisito a los oferentes o contratistas en los carteles de licitación de diseño-construcción del proyecto, la realización de análisis de costos del ciclo de vida de varias alternativas de rehabilitación y sustitución.

Este tipo de informe genera un insumo sumamente importante para la Administración, que es la que en definitiva tiene que tomar las decisiones sustantivas en esta materia.

1.1 Objetivo General

Brindar asesoría al CONAVI para incluir en los carteles de licitación, el requerimiento de que los oferentes o contratistas realicen un análisis de costos del ciclo de vida (ACCV), para la



escogencia de la solución más costo-efectiva entre distintas alternativas de rehabilitación y sustitución de puentes, como parte del proyecto denominado “Programa de Intervención de Puentes en Estado Deficiente”.

1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la asesoría a tratar en esta segunda parte son:

1. Proveer a la Administración de una herramienta analítica que le permita solicitar a los contratistas que concursen o sean adjudicados en los distintos puentes que compongan el proyecto, llevar a cabo la propuesta de varias opciones de intervención de mejoramiento de puentes (rehabilitación y sustitución), y la escogencia de la mejor opción costo-efectiva a largo plazo para la Administración, todo lo anterior debidamente justificado en un documento que deberá ser parte de los entregables de cada proyecto o durante la fase de adjudicación.
2. Optimizar los costos de la Administración en el ciclo de vida de los puentes y no solo en el corto plazo (en cuyo caso se utiliza sólo el monto inicial de construcción), de forma que permita asignar eficientemente el presupuesto y recursos disponibles para la intervención de estructuras de puentes como parte del proyecto, tomando en cuenta el largo plazo.
3. Maximizar el beneficio social, tomando en cuenta consideraciones de los costos de los usuarios como resultado de las intervenciones de las estructuras de puentes como parte del proyecto, que derive en construcciones más rápidas, eficientes y ambientalmente viables, pero sin sacrificar la calidad, durabilidad, funcionalidad y seguridad estructural.

1.3 Alcance y limitaciones

1. Los siguientes temas, que fueron parte de la solicitud de asesoría DIE-02-19-0250(24), no fueron considerados en este segundo informe:
 - a. Establecimiento del alcance que será solicitado a los contratistas por parte de la Administración en los carteles de licitación, para la intervención de estructuras de puentes en estado serio, alarmante o de riesgo inaceptable en la Red Vial Nacional.



- Este alcance incluye, pero no se restringe, a: nivel de intervención (rehabilitación versus sustitución), vidas de servicio de las intervenciones, normativa y cargas de diseño, entre otros.
- b. Revisión del pliego de especificaciones técnicas (no contractuales ni legales) del cartel típico de licitación de diseño y construcción que se determine para el proyecto en específico, con el fin de identificar oportunidades de mejora previo a que sea publicado.
 - c. Preparación de listas de chequeo generales para la revisión de las memorias de cálculo en la parte estructural, hidrológica-hidráulica-socavación, geotécnica, seguridad vial y de amenaza sísmica, que estará recibiendo la Administración como parte de los entregables del proyecto durante su ejecución. Estas listas de chequeo son de revisión de la calidad técnica y no una revisión punto por punto de los cálculos y metodologías que realicen los contratistas adjudicados.
2. Los análisis de costos del ciclo de vida tienen una amplia versatilidad que permite que puedan ser realizados a distintas escalas, siendo posible su uso a nivel de un conjunto de puentes (nivel de red) para la toma de decisiones de priorización o a nivel de proyectos individuales (nivel de puente) para la toma de decisiones con base en distintas alternativas aplicables. En el caso de la metodología propuesta en el presente informe, esta se limita únicamente al segundo caso mencionado, en donde se evalúa a nivel de proyecto individual cual es la mejor alternativa entre opciones de rehabilitación o sustitución para un puente en específico. Sin embargo, debe considerarse el uso futuro de esta metodología para la toma de decisiones con base en las distintas necesidades, ya sea de conservación o de mejoramiento, de todos los puentes de la Red Vial Nacional, como parte de las tareas de gestión, en cuyo caso se denomina planificación del ciclo de vida ("*life cycle planning*" en inglés).
 3. Los análisis de ciclo de vida pueden ser realizados con distintas extensiones e incluyendo distintas variables según el objetivo para el cual se requiera el análisis. La metodología presentada consiste en una simplificación que incluye únicamente las variables que se consideran representativas para el objetivo del proyecto y que pueden ser calculadas de manera práctica con una incertidumbre asociada baja, según la información disponible en el país. Algunas de las variables que si se encuentran en las referencias consultadas



- para elaborar el informe pero que no se incluyeron en la metodología presentada corresponden a: la inclusión de los costos de los accidentes como parte de los costos de usuarios, costos por riesgo de falla o colapso, costos por impacto ambiental, entre otros.
4. Uno de los requerimientos de los análisis de costos del ciclo de vida, consiste en estimar las necesidades futuras de operación de los activos que estén siendo analizados, por lo que deberán definirse todas las necesidades de conservación que son requeridas para el puente. En los anexos del presente informe se incluye una tabla con una recopilación de distintas actividades de conservación y la frecuencia o recurrencia con la que debe ser realizada. Esta tabla no incluye todas las actividades de conservación existentes, y por consiguiente, tanto la actividad como la frecuencia deben ser utilizadas únicamente como referencia. Será responsabilidad del oferente o contratista incluir todas las actividades de conservación que considere necesarias, y de la Administración revisar los planes de conservación presentados por el oferente, los cuales deberán ser solicitados desde el cartel.
 5. En las metodologías consultadas de fuentes internacionales, se utilizan modelos de predicción del deterioro (denominadas de forma simplificada como “curvas de deterioro”) y modelos de efectividad de las acciones, como parte de las herramientas estándar de un AACV para la optimización de la toma de decisiones, al permitir el análisis del tiempo más adecuado, es decir, el que implica un costo menor en el largo plazo, para realizar las distintas intervenciones. Sin embargo, en el país no se cuenta de momento con los datos suficientes para poder desarrollar estos modelos de manera confiable, por lo que su uso no será tomado en cuenta en la metodología presentada. Sin embargo, deberá considerarse el uso futuro de estos modelos, una vez que los ACCV vayan a ser incorporados de forma consistente en los sistemas de gestión de puentes.
 6. La Administración deberá establecer mecanismos prácticos y eficientes que le permitan comprobar que los ACCV que se presentan por parte de los contratistas u oferentes, cumplan con todos los requerimientos solicitados. A su vez, estos mecanismos deben permitir comprobar que los ACCV sean objetivos y no estén sesgados hacia opciones que no son las más costo-efectivas para la Administración.
 7. Aunque el informe se centra en los análisis de costos del ciclo de vida, se reconoce que este no es el único tipo de análisis que puede ser llevado a cabo para valorar entre



distintas alternativas para las intervenciones del proyecto. El análisis de costos del ciclo de vida únicamente permite comparar alternativas bajo las mismas condiciones de servicio. En caso de que existan alternativas con distintos niveles de servicio, por ejemplo, aumentar el número de carriles, deben realizarse otros tipos de análisis económicos como lo es el análisis costo-beneficio, el cual implica un nivel de complejidad y de incertidumbre en los datos mayor.

8. La metodología y conclusiones presentadas en este informe, son recomendaciones que deberán ser valoradas por la Administración, quien continuará siendo el responsable de las decisiones que se tomen en el proyecto y de sus repercusiones.
9. La colaboración del LanammeUCR en este proyecto se realiza con el objetivo de contribuir con una iniciativa de la Administración cuyo fin es atender en el corto a mediano plazo, el estado de emergencia y abandono en que se encuentran los puentes de la Red Vial Nacional, y que por lo tanto es un esfuerzo para brindar seguridad a los usuarios de estas estructuras y asegurar su operación. Sin embargo, es necesario llamar una vez más la atención (CGR, 2010; Barrantes-Jiménez et al., 2014; Agüero-Barrantes et al., 2016; Rodríguez-Morera et al., 2018) de que dicho proyecto, aunque importante, sigue siendo un enfoque de “el peor caso primero”, y que la Administración debe empezar a migrar hacia la implementación de un verdadero sistema de gestión de puentes (SGP), que le permita de manera permanente, sistemática y cíclica, atender de manera efectiva no sólo los puentes con las mayores necesidades funcionales, estructurales o de daño, sino también, en combinación, las tareas de conservación de los puentes que se encuentren en estado satisfactorio, regular o deficiente, para así hacer un uso más costo-efectivo de los recursos en el largo plazo.



2. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA INCLUSIÓN DE ANÁLISIS DE COSTO DEL CICLO DE VIDA (ACCV) EN CARTELES DE LICITACIÓN

2.1 Definición de análisis de costos del ciclo de vida (ACCV)

Un análisis de costos del ciclo de vida (ACCV por sus siglas y LCCA por sus siglas en inglés), corresponde a una metodología que permite realizar un análisis comparativo de costos durante un período de tiempo establecido, normalmente asociado a la vida de servicio de un activo, teniendo en cuenta costos de capital inicial y costos operativos futuros (Salokangas, 2013). De esta manera, un ACCV requiere de un enfoque sistemático y racional, a través del cual se pueda maximizar la asignación de recursos, al evaluar todos los costos asociados a distintas alternativas durante toda su vida útil y no únicamente su costo inicial, de forma tal que se minimicen los gastos operativos a la vez que se conserva o mejora la condición del activo.

De la definición anterior de análisis de costos del ciclo de vida se desprenden dos conceptos importantes, los cuales son la vida útil o de servicio de la estructura y el ciclo de vida. Con respecto a la *vida de servicio* de la estructura, esta puede definirse como el periodo de tiempo desde un momento definido, normalmente asociado a la finalización de la construcción y puesta en operación, que es esperado que transcurra antes de que el puente alcance condiciones de servicio inaceptables. Por otro lado, el *ciclo de vida* puede definirse como la secuencia de acciones, resultados, eventos y consecuencias que se asocian al diseño, construcción y uso de un puente a lo largo de su vida de servicio (Hawk, 2003), incluyendo su salida de operación (demolición de la estructura).

En la Figura 2.1 se puede observar de forma esquemática el costo asociado a algunas acciones que deben ser realizadas durante la vida útil de una estructura, para contrarrestar la pérdida de condición o deterioro de la misma en el tiempo. Debido a la alta importancia de las estructuras de puentes dentro del sistema de transportes, debe ser una premisa de la Administración, mantener la condición de las estructuras de puentes en niveles de servicio adecuados, realizando acciones de conservación y/o mejoramiento según sean requeridas

de manera oportuna. Por lo tanto, un ACCV se realiza con el objetivo de contemplar, adicional a los costos iniciales, estos costos operativos futuros, incluyendo inclusive los costos de demolición y disposición final.

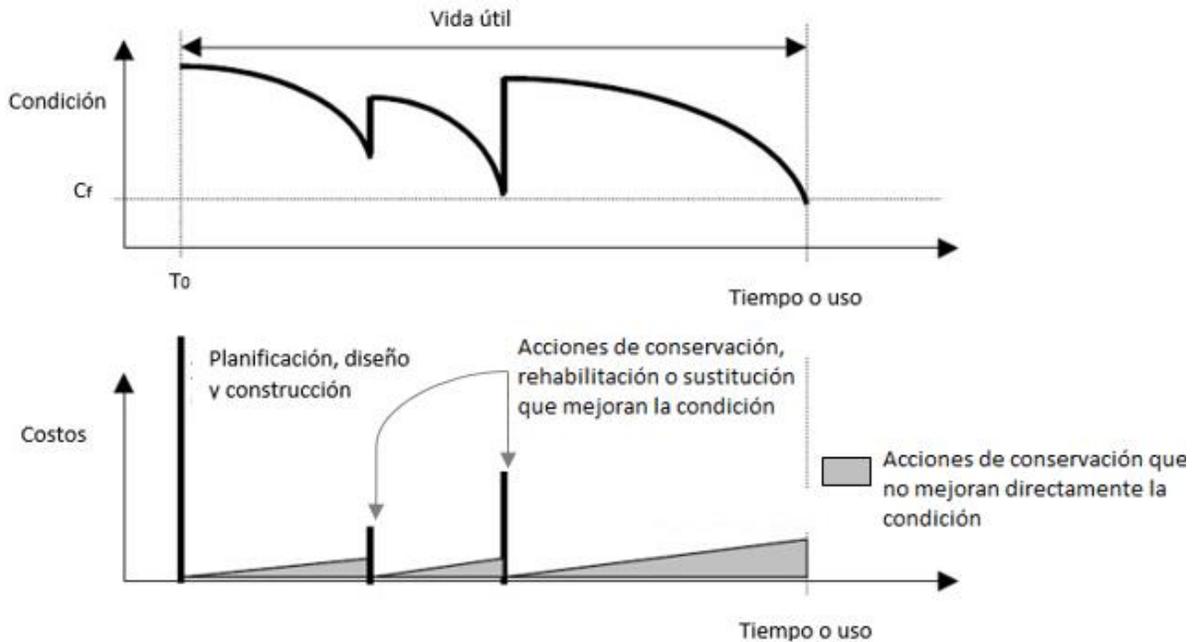


Figura 2.1. Representación de condición y costos conservación, rehabilitación o sustitución a lo largo de la vida útil (Adaptado de NCHRP 2003).

Es importante recalcar que tal y como se mencionó en el alcance, en un ACCV las alternativas analizadas deben procurar cumplir con los mismos objetivos, ya que en caso de que tengan condiciones distintas entre sí o brinden niveles de servicio diferentes, corresponde más bien a lo que se denomina un análisis costo-beneficio. Un ejemplo de un caso que no podría ser analizado mediante un ACCV debido a que brinda niveles de servicio distintos, sería comparar una alternativa que implique aumentar el número de carriles del puente contra mantenerse con la misma cantidad de carriles. Otro sería la comparación entre mantener operando un servicio de ferry en comparación con construir un puente.

Adicionalmente, con los ACCV se incluyen dentro de la conceptualización de un proyecto, los gastos operativos futuros relacionados a los costos de conservación y de mejoramiento;



lo anterior favorece a que se promueva realizar diseños con mayor durabilidad y con menos requerimientos de conservación, con el objetivo de minimizar y optimizar las intervenciones. A su vez, se tiende a buscar la disminución de los tiempos de construcción mediante construcciones aceleradas, para disminuir los altos costos de los usuarios, lo cual paralelamente puede llevar a una mejora de la percepción y aceptación del público hacia los proyectos de intervención de puentes.

A pesar de los beneficios que puede representar la inclusión de los ACCV como herramienta de gestión, es importante reconocer como uno de los principales riesgos del mismo la mayor complejidad que representa realizar este tipo de análisis contra los análisis que se realizan actualmente en Costa Rica para el caso de puentes, en los cuales se considera únicamente el costo inicial y no los costos futuros. Lo anterior implica que podría generarse reticencia para realizar este tipo de análisis, o que podría ser realizado de manera inadecuada para priorizar, desde el punto de vista económico, la opción que alguna de las partes considere favorable a sus intereses particulares. Es por esta razón, que en la Sección 2.2 se presenta una propuesta metodológica práctica y simplificada para la inclusión de los ACCV como parte de los análisis del proyecto, pero que de igual manera sea funcional para la selección de propuestas más costo-efectivas como parte del proyecto. Debe ser responsabilidad de la Administración contar con una metodología o herramienta para determinar que los ACCV presentados sean objetivos y que recomiendan la opción que realmente permita maximizar el uso de los recursos públicos.

2.2 Recomendación de propuesta metodológica para inclusión de análisis de ciclo de vida en carteles de licitación

En la Figura 2.2 se presenta la propuesta metodológica para la inclusión de los ACCV en los carteles de licitación que serán parte del proyecto de intervención de puentes. Se puede observar que, para cada uno de los pasos propuestos, se define un responsable de la ejecución, ya sea que la actividad debe ser llevada a cabo por la Administración o por el contratista u oferente.

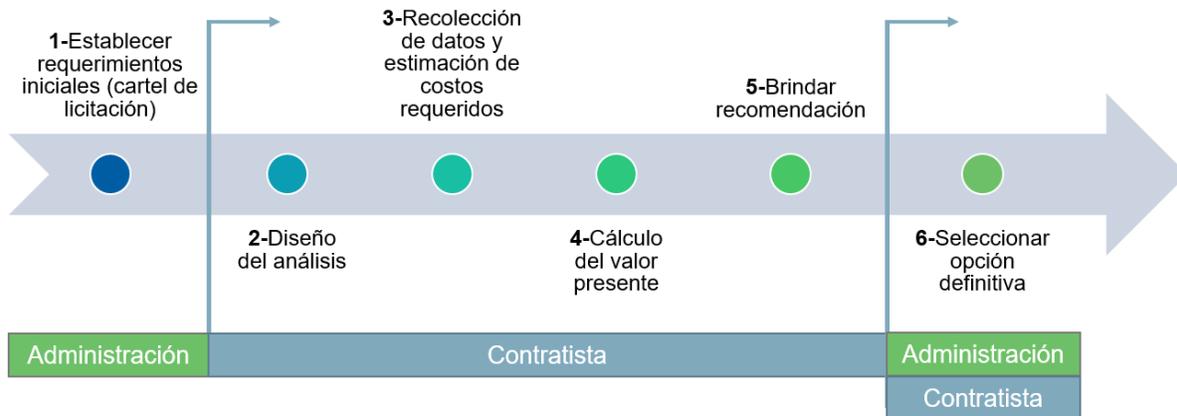


Figura 2.2. Propuesta metodológica para inclusión de ACCV en carteles de licitación.

En cada uno de los apartados de la presente sección, se describen los seis pasos establecidos en la propuesta metodológica representada en la Figura 2.2.

2.2.1 Establecimiento de requerimientos iniciales en el cartel de licitación

El primer paso consiste en el establecimiento de los requerimientos iniciales del análisis. Este paso es importante que sea establecido claramente de previo por la Administración, ya que corresponde a la definición de los objetivos, premisas, tiempo de estudio, cantidad de alternativas a ser evaluadas y los costos que deben ser incluidos en el análisis.

A continuación, se brindan ejemplos que pueden ser tomados en cuenta por la Administración para establecer cada uno de los requerimientos mencionados:

a. Objetivo general:

Utilizar ACCV para estudiar distintas alternativas de rehabilitación y sustitución para los distintos puentes del programa de intervención de puentes por emergencia, y así obtener en cada caso específico la mejor solución costo-efectiva en el ciclo de vida.

b. Premisa:

El oferente debe presentar un plan de conservación que incluya actividades cíclicas y basadas en la condición (*mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico*



respectivamente según Ley n°. 7798 de creación del CONAVI), de forma tal que asegure que el puente se mantendrá en condiciones de servicio adecuadas (a ser definidas por la Administración pero que respondan a objetivos establecidos y debidamente justificados) durante toda su vida útil. Adicionalmente, como medida de rehabilitación o intervención mayor, se permitirá únicamente la sustitución del tablero por ser uno de los componentes más susceptibles a deterioro y daño del puente, y por lo tanto, de los componentes estructurales principales, el de mayor probabilidad de tener una menor vida útil de servicio, teniendo claro eso sí, que se debe buscar que esta sea lo más extendida posible.

Se entenderá como intervención mayor a aquella actividad que requiere la contratación de servicios de diseño y construcción por parte de la Administración, y que no puede ser llevada a cabo por los equipos que realizan de forma regular las tareas de conservación. Adicionalmente, puede utilizarse como criterio de clasificación de intervenciones el costo de las mismas, siendo las intervenciones con un costo mayor al 30% del costo total de reposición del puente en estudio, las que deben considerarse como intervenciones mayores, ya sea rehabilitación o sustitución (MnDOT, 2015).

c. Tiempo de estudio:

A pesar de que la FHWA (2002) no establece un periodo de tiempo mínimo para los ACCV, si indica que el tiempo de estudio debe ser definido de forma tal que se incluya al menos una intervención mayor para cada alternativa. Debido a lo anterior, se recomienda que el periodo de estudio del análisis sea de 75 años, con el objetivo de que se incluyan intervenciones que por lo general se producen a edades avanzadas para el caso de puentes. Adicionalmente, es importante mencionar que los parámetros de carga y resistencia para diseño en AASHTO LRFD fueron calibrados para este mismo periodo de tiempo, razón por la cual se le denomina también vida de diseño (AASHTO, 2017). Esta definición de vida de diseño es ratificada por Mertz y Wasserman (2017), en donde adicionalmente, se explica la diferencia entre vida de diseño y vida de servicio. En algunas ocasiones, la vida de servicio de los puentes puede esperarse que sea mayor a estos 75 años, por lo que utilizar la vida de diseño suele ser un mínimo aceptable para el tiempo de estudio de los ACCV (Shirolé, 2006).



Finalmente, es importante mencionar que el tiempo de estudio es independiente de las vidas útiles de servicio que se definan para cada una de las opciones, es decir, estas podrían, si la Administración así lo acepta, ser menores; sin embargo, lo importante es que se definan las acciones y costos relacionados que deben ser ejecutados luego de ese período hasta el máximo del tiempo de estudio, para poder realizar la comparación.

d. Cantidad de alternativas:

Se recomienda como mínimo que en el análisis comparativo se incluyan dos alternativas de rehabilitación y dos alternativas de diseño para sustitución y construcción nueva del puente. En caso de utilizar menos alternativas, la Administración, el oferente o el contratista, deberá justificarlo adecuadamente.

e. Costos a incluir en el análisis:

La complejidad del ACCV se encuentra directamente relacionado con los costos que vayan a ser incluidos en el mismo. Como parte de la propuesta metodológica, se recomienda la inclusión de los siguientes costos en el análisis:

- Costos de la Administración:
 - Costos iniciales: Costos de estudios previos, diseño y construcción.
 - Costos operacionales: Conservación y mejoramiento (rehabilitación).
 - Costos de final de vida: Costos de demolición y disposición.
- Costos de usuarios:
 - Costos operacionales de vehículos.
 - Costo de tiempo de traslado o retraso de conductor.

Tal y como se mencionó en el alcance, algunas variables adicionales que son normalmente incluidas en las metodologías consultadas y que son mostradas en las referencias del presente informe, no son contempladas en la metodología propuesta, ya que, debido a la insuficiencia de datos precisos y exhaustivos para todo el país, no pueden determinarse con la precisión requerida. Por ejemplo, los costos de los accidentes, los cuales forman parte de los costos de los usuarios, se excluyen de la propuesta metodológica debido a que no se cuentan con datos de las tasas de accidentes para la mayoría de las rutas requeridas.



Finalmente, es importante mencionar que los costos de demolición deben ser igualmente incluidos como costos iniciales en el caso de las propuestas de sustitución.

2.2.2 Diseño del análisis

El segundo paso de la propuesta metodológica corresponde al diseño del análisis que debe ser llevado a cabo por el contratista u oferente. Este paso se puede dividir en dos componentes principales:

a. Determinación de alternativas:

El contratista debe establecer cuáles son las alternativas razonables que cumplen con los requisitos establecidos por la Administración y que serán estudiadas en el análisis.

b. Elaboración de plan de conservación:

El contratista debe establecer, para cada una de las alternativas seleccionadas, el plan de conservación y mejoramiento que asegure el funcionamiento adecuado de la estructura a lo largo de todo el periodo de estudio. Se debe plasmar este plan de conservación en un cronograma que incluya el tiempo de duración de cada actividad. Adicionalmente, se debe definir si para cada intervención es necesario realizar un cierre parcial, total o si el cierre no es requerido. La duración y el tipo de intervención son necesarios para establecer los costos de los usuarios por intervención, y el cronograma para establecer su valor presente neto.

En la Figura 2.3 se presenta un diagrama con una clasificación de las acciones de intervención como parte de un programa de gestión de puentes. El plan de conservación planteado por el contratista, debe contar con acciones de mantenimiento cíclico y basado en la condición (complementarias, en el aspecto de puentes, a las definiciones de *mantenimiento rutinario* y *mantenimiento periódico* respectivamente de la Ley n°. 7798 de creación del CONAVI).

Adicionalmente, puede incluir como única medida de intervención mayor la sustitución del tablero (Ver inciso 2.2.1.b).



Tomando como base el Manual de Especificaciones Generales Para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes (MCV-15), se presentan en el Cuadro 2.1 algunos ejemplos de actividades de conservación clasificadas como cíclico y basado en la condición (*mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico respectivamente según la Ley n°. 7798 de creación del CONAVI*). A su vez, en el Anexo 1 se presenta una tabla con el resumen de algunas actividades de conservación y su recurrencia mínima recomendada. Es importante mencionar que esta información se presenta únicamente a manera de ejemplo, por lo que será responsabilidad del oferente o contratista determinar las actividades, según su plan de conservación, adecuadas para el tipo de puente, materiales utilizados y condiciones de exposición específicas.

Una vez finalizado el ACCV, el contratista deberá entregar un plan de conservación, en el cual se establezcan todas las actividades que fueron contempladas en el análisis para la alternativa finalmente seleccionada. Este plan deberá ser la base del manual de conservación que deberá ser entregado por parte del contratista a la Administración posterior a la fase de construcción, como parte de los documentos finales del proyecto que irán al archivo del puente, y por lo tanto debe ser solicitado en el cartel.



Figura 2.3. Diagrama de un programa de gestión de puentes enfocado en las acciones de intervención (Adaptado de FHWA, 2018).



Cuadro 2.1. Ejemplo de actividades de conservación (Tomando como base: MOPT, 2015).

Actividades de mantenimiento cíclico (rutinario según Ley n°. 7798)	Actividades de mantenimiento basado en la condición (periódico según Ley n°. 7798)
<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza manual. - Limpieza de cauces. - Limpieza y sellado de grietas en elementos de concreto. - Reparación superficial de elementos de concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reemplazo de juntas de expansión. - Mantenimiento o reemplazo de dispositivos de apoyo. - Preparación y protección de superficies de acero, concreto o madera. - Retiro y reposición de pernos de alta resistencia.

2.2.3 Recolección de datos y estimación de costos requeridos

Según los requerimientos establecidos en el Apartado 2.2.1, los costos que deben ser analizados (C_{totales}) corresponden a los costos de la Administración ($C_{\text{admin.}}$) y los costos de los usuarios (C_{usuarios}).

$$C_{\text{totales}} = C_{\text{admin.}} + C_{\text{usuarios}} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Para establecer los costos de la Administración, el oferente o contratista debe determinar los costos asociados a los estudios previos, diseño y construcción de la alternativa ($C_{\text{diseño y constru.}}$), los costos de conservación según el respectivo plan ($C_{\text{conservación}}$) y los costos de demolición ($C_{\text{demolición}}$).

$$C_{\text{admin.}} = C_{\text{diseño y constru.}} + C_{\text{conservación.}} + C_{\text{demolición}} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Una vez determinados los costos de la Administración, el contratista puede proceder a estimar los costos de los usuarios. Estos costos corresponden a aquellos que se generan hacia los usuarios del puente durante los cierres totales o parciales asociados a las intervenciones definidas. Dichos costos están asociados a la etapa de construcción y al plan de conservación definido según el Apartado 2.2.2, y corresponden a los costos de operación de vehículos (COV) y costos de tiempo de traslado o tiempo de retraso (CTT).



$$C_{usuarios} = COV + CTT \quad [\text{Ec. 3}]$$

Los costos operativos de vehículos (COV), contemplan los costos asociados al consumo de combustible, necesidad de mantenimiento del vehículo, desgaste de neumáticos, entre otros factores propios del uso normal. Los costos operativos de vehículos se calculan según la Ecuación 4 para cierre total con necesidad de desvío y la Ecuación 5 para cierre parcial con necesidad de reducción de velocidad (Adaptado de: Roca, 2014; Hawk, 2003; Imhof, 2004). El valor obtenido de las dos ecuaciones mencionadas corresponde al costo operativo de vehículos diario, por lo que en ambos casos este deberá ser multiplicado por la cantidad de días que dure el cierre, ya sea parcial o total según corresponda y de acuerdo al cronograma mencionado en el Inciso 2.2.2.b.

Los costos de tiempo de retraso (CTT) son aquellos que se relacionan al costo del tiempo adicional de los conductores, que se genera debido al desvío por el cierre completo o a la reducción en la velocidad de circulación del conductor que se genera por las zonas de trabajo en cierres parciales. Los costos de tiempo de retraso se calculan según la Ecuación 6 para cierre total con necesidad de desvío y la Ecuación 7 para cierre parcial con necesidad de reducción de velocidad (Adaptado de: Roca, 2014; Hawk, 2003; Imhof, 2004). El valor obtenido de las dos ecuaciones mencionadas corresponde al costo de tiempo de retraso diario, por lo que en ambos casos este deberá ser multiplicado por la cantidad de días que dure el cierre, ya sea parcial o total según corresponda y de acuerdo al cronograma mencionado en el Inciso 2.2.2.b.

$$COV_{total} = TPD * VOC_u * \left(L_d - \frac{v_d}{v_n} * L_n \right) \quad [\text{Ec. 4}]$$

$$COV_{parcial} = TPD * VOC_u * \left(L_t - \frac{v_t}{v_n} * L_t \right) \quad [\text{Ec. 5}]$$

$$CTT_{total} = \left(\frac{L_d}{v_d} - \frac{L_n}{v_n} \right) * VTT_u * TPD \quad [\text{Ec. 6}]$$



$$CTT_{parcial} = \left(\frac{L_t}{v_t} - \frac{L_n}{v_n} \right) * VTT_U * TPD \quad [Ec. 7]$$

Donde:

- TPD = Corresponde al tránsito promedio diario (vehículos/día) de la ruta donde se ubica el puente. Esta información debe obtenerse de conteos del tránsito en el lugar del proyecto. Si la Administración lo aprueba, la información podrá ser adquirida del Anuario de Información de Tránsito del MOPT en su última versión, la cual está disponible en la página web de dicha institución. Se debe considerar el tránsito por cada tipo de vehículo, así como el incremento del TPD anualmente, en ambos casos información que se puede obtener de dicho documento.
- L_n = Corresponde a la longitud normal sin desvío que debe recorrer el vehículo en kilómetros.
- L_d = Corresponde a la longitud de desvío en kilómetros que debe recorrer un vehículo para llegar al mismo punto de destino debido al cierre del puente (Ver Nota 1).
- L_t = Corresponde a la longitud total afectada en kilómetros donde es requerido reducir la velocidad debido a los trabajos en el puente (Ver Nota 2).
- V_n = Corresponde a la velocidad normal del vehículo en la ruta original sin desvío en kilómetros por hora (Ver Nota 3).
- V_d = Corresponde a la velocidad normal del vehículo en el desvío en kilómetros por hora (Ver Nota 3).
- V_t = Corresponde a la velocidad de circulación en la zona de trabajo en kilómetros por hora (Ver Nota 2).
- VOC_u = Corresponde a los costos unitarios operativos de un vehículo en colones por kilómetro. Según los datos elaborados por Planificación Sectorial del MOPT (2010), los costos de operación de vehículos dependen de la velocidad y del tipo de vehículo (ver Anexo B). Asimismo, existen factores de modificación al costo operativo de los vehículos según el tipo de superficie de ruedo, condición de la superficie, pendiente y visibilidad de la ruta. Se recomienda el uso de estos factores para que la estimación del costo unitario operativo de vehículos pueda ser más precisa. En caso de ser considerados, los factores deberán ser debidamente justificados y provistos por la Administración al oferente o contratista.



Según se puede observar en el Anexo B, no existen datos de costos operativos de vehículos para camiones de 4 ejes y 6 ejes, razón por la cual se decide en este informe recomendar una simplificación de la metodología, utilizando un único valor de costo operativo para camiones promedio. Los valores de costos de operación de vehículos por kilómetro, adaptados según la consideración anterior, se presentan en el Cuadro 2.2. Se debe mencionar que los costos de operación incluidos en este cuadro son para condiciones tipo, ya que no incluyen los factores de modificación adicionales mencionados anteriormente.

- VTT_u = Corresponde a los costos unitarios de tiempos de traslados de un vehículo en colones por hora. Según los datos elaborados por Planificación Sectorial del MOPT (2018), los costos de tiempo de traslado dependen del tipo de vehículo y del propósito de viaje. Al igual que para la variable anterior, se realiza la simplificación de conjuntar los costos de tiempo de traslado para todos los camiones. Los valores de costos de tiempo de traslado, adaptados según la consideración anterior, se presentan en el Cuadro 2.3. Es importante mencionar que los valores presentados ya consideran la cantidad promedio de personas por vehículo, razón por la cual el valor de buses es tan alto en relación con los otros tipos.

Notas:

- (1) El oferente o contratista debe considerar las condiciones reales de servicio, incluyendo aspectos como velocidad de operación y accesibilidad por tipo de vehículo, que ofrece la ruta de desvío que está planteando como parte del análisis.
- (2) Las áreas de control temporal de tránsito en las zonas de trabajo deben ser definidas de acuerdo con el Manual Técnico de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la Ejecución de Trabajos en las Vías (MOPT, 2015), de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito del MOPT.
- (3) Se deben realizar mediciones de la velocidad normal de circulación de los vehículos en el sitio del proyecto. En caso de que la Administración lo apruebe, se puede consultar por las velocidades promedio medidas en algunos tramos por parte de Planificación Sectorial del MOPT, y, de no contar con la información en el tramo en estudio, utilizar la velocidad máxima reglamentaria de cada tramo.



Cuadro 2.2. Costos de operación de vehículos por kilómetro (Adaptado de MOPT, 2010).

Velocidad (km/h)	Liviano de pasajeros (¢/km)	Carga liviana (¢/km)	Buses (¢/km)	Camión (Promedio) (¢/km)
15	169,50	325,37	358,12	350,29
20	140,81	243,51	285,08	279,53
25	121,81	188,39	236,53	230,91
30	107,76	150,56	201,06	198,54
35	97,17	125,38	179,56	175,01
40	90,16	111,19	167,74	163,93
45	84,12	102,42	161,40	159,43
50	80,55	99,72	160,62	157,26
55	77,45	99,03	164,15	161,73
60	75,82	100,92	166,39	165,22
65	73,78	101,95	172,86	171,25
70	73,55	105,01	178,86	177,05
75	72,07	105,56	183,96	181,47
80	71,22	106,37	188,78	186,59
85	70,80	107,81	193,47	193,27
90	70,80	107,81	193,47	193,27

Cuadro 2.3. Costos de tiempo de traslado por vehículos por hora

(Adaptado de Planificación Sectorial MOPT, 2018).

Tipo de vehículo	¢/hora
Liviano de pasajeros	4 687,00
Carga liviana	3 137,00
Bus	52 646,00
Camión (Promedio)	1 945,67

2.2.4 Cálculo del valor presente neto

Debido a que los costos serán incurridos en distintos momentos a lo largo de la vida útil de la estructura, los mismos deben ser convertidos a su valor presente. Lo anterior, permite realizar una comparación sencilla de costos entre las distintas alternativas, aunque estos sean incurridos en diferentes momentos, y así tomar en cuenta el valor del dinero en el



tiempo. Para calcular el valor presente neto (VPN) se puede utilizar la siguiente fórmula (Adaptado de Hawk, 2003):

$$VPN = C_n \times \frac{1}{(1+r)^n} \quad [\text{Ec. 8}]$$

Donde:

- C_n = Corresponde al costo en el año en el que el este será incurrido (n) en colones.
- r = Corresponde a la tasa de descuento real (sin contemplar la inflación).
- n = Corresponde al año en el que el costo en consideración será incurrido.

La tasa de descuento real (r) tiene una alta influencia en la comparación final de los resultados. Tasas de descuento real muy altas, tenderán a favorecer proyectos en los cuales la mayoría de los costos se realizan cerca del final del periodo de estudio, y viceversa. Es por esta razón, que se recomienda que la tasa de descuento real sea establecida por la Administración.

Debido a que se reconoce que la estimación de los costos futuros (C_n) podría tener mucha incertidumbre asociada, para la estimación de los mismos el FHWA (1998) recomienda como buena práctica en los ACCV, utilizar el valor real del dinero en el momento del análisis, no utilizando las tasas de inflación en la estimación de dichos costos.

Finalmente, teniendo en consideración la ecuación anterior (Ecuación 8), la Ecuación 1 podría modificarse para incluir el valor presente neto de todos los costos incluidos en el análisis de la siguiente manera:

$$VPN_{\text{Costos totales}} = \sum_{k=1}^N C_{\text{admin.}} \left[\frac{1}{(1+r)^n} \right] + \sum_{k=1}^N C_{\text{usuarios}} \left[\frac{1}{(1+r)^n} \right] \quad [\text{Ec. 9}]$$



2.2.5 Recomendación según resultados del análisis

Una vez obtenido el valor presente neto de todos los costos para cada alternativa, el contratista u oferente debe proceder a realizar un análisis en donde se interpreten los resultados obtenidos. Debido a que únicamente se están utilizando valores determinísticos, el resultado final para cada alternativa constará de únicamente un valor presente neto.

2.2.6 Selección de opción definitiva

Una vez presentados los resultados y recomendaciones del contratista u oferente, la Administración debe seleccionar la opción definitiva dentro de todas las alternativas presentadas. Dicha decisión debe ser tomada teniendo en consideración los aspectos que la Administración considere pertinentes, y no es estrictamente necesario que la Administración seleccione la opción con un menor valor presente neto o que siga la recomendación del contratista u oferente, siempre que se justifique de forma adecuada y transparente. Algunos de los otros factores que pueden ser considerados por la Administración en la decisión final pueden ser aspectos de seguridad, comodidad del usuario, importancia estratégica del puente, consideraciones estéticas o históricas de las estructuras, mejores prácticas según la Administración, evaluación del riesgo, confiabilidad, entre otros. Sin embargo, es claro que como parte de la escogencia final se realizará la comparación entre los valores presentes netos, los cuales indicarían la solución con los mejores costos en todo ciclo de vida del proyecto y no sólo los menores costos iniciales, por lo que son un insumo de mucho peso.



3. CASO DE ESTUDIO DE UN ACCV

En secciones anteriores del presente capítulo, se presentaron algunas de las distintas aplicaciones que pueden tener los ACCV. Según se mencionó, estos pueden ser utilizados para seleccionar la opción más costo-efectiva entre dos o más alternativas distintas de diseño, que proveen un mismo nivel de servicio. El ejemplo presentado a continuación ha sido adaptado del documento “A Briefing on Life-Cycle Cost Analysis of New Bridge Design Alternatives” realizado por el SHRP2 SOLUTIONS (2019).

El ejemplo se basa en un análisis ACCV para determinar cuál tipo de superficie de desgaste utilizar en la construcción de un nuevo puente, al cual se le proyecta una vida de servicio de 100 años, que como se puede ver se utiliza un valor mayor incluso a 75 años recomendados según el Apartado 2.2.1.

Por simplificación en cuanto al orden de magnitud de las cifras del ejemplo se utiliza como moneda el dólar (\$), pero su uso para el caso de colones es sólo una cuestión de utilizar el respectivo tipo de cambio.

A continuación, se presentan las principales características del puente que son consideradas en el análisis:

- a. El tránsito promedio diario (TPD) será de 25 000 vehículos/día, siendo del total un 9% el porcentaje de camiones. Se asume que el TPD permanecerá constante a lo largo de todo el estudio. Es evidente que, si se tiene la tasa de crecimiento anual del TPD, estos valores se pueden proyectar para los años asociados a cada intervención.
- b. El tablero del puente corresponde a una losa de concreto reforzado con un ancho de 28 m y un largo de 40 m, para un área bruta total de 1120 m².
- c. La tasa de descuento a utilizar para el cálculo del valor presente será de 2,9 %.
- d. Las dos opciones de superficie de rodamiento consideradas son:
 - Opción 1: Impermeabilización y asfalto con un costo inicial de \$120 000.
 - Opción 2: Recubrimiento de concreto de 6,35 cm con un costo inicial de \$40 000.



3.1.1 Definición de necesidades de conservación

Las necesidades de conservación varían según el tipo de superficie de rodamiento. Para simplificación del ejemplo, se incluyen únicamente algunas actividades de mantenimiento basado en la condición (*mantenimiento periódico según Ley n°.7798 de creación del CONAVI*), y no se consideran actividades de mantenimiento cíclico (*mantenimiento rutinario según Ley n°.7798 de creación del CONAVI*); lo anterior puede ser una opción viable si se considera, por experiencia ganada en su aplicación, que los costos asociados al mantenimiento cíclico son bajos en comparación con los otros costos. En el Cuadro 3.1 se presentan las distintas actividades de conservación requeridas para la Opción 1 con su respectivo costo asociado, mientras que en el Cuadro 3.2 se presentan las actividades para la Opción 2.

Cuadro 3.1. Actividades de conservación consideradas para Opción 1: Impermeabilizante y asfalto (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Actividades de conservación	Año de ejecución	Costo Actividad
1 - Reemplazar asfalto	15	\$ 112 697,27
2 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	25	\$ 331 096,51
3 - Reemplazar asfalto	40	\$ 112 697,27
4 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	50	\$ 331 096,51
5 - Reemplazar asfalto	65	\$ 112 697,27
6 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	75	\$ 331 096,51
7 - Reemplazar asfalto	90	\$ 112 697,27



Cuadro 3.2. Actividades de conservación consideradas para Opción 2: Recubrimiento de concreto (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Actividades de conservación	Año de ejecución	Costo Actividad
1 - Endurecimiento de superficie	25	\$ 22 399
2 - Reemplazar recubrimiento	50	\$ 527 819
3 - Reemplazar recubrimiento	75	\$ 527 819

Adicionalmente, en el ejemplo se busca determinar cuál opción de intervención es más costo-efectiva entre realizar cierres parciales o cierres totales. En el Cuadro 3.3 y Cuadro 3.4, se presentan las actividades de conservación junto con la cantidad de días requeridos para cada intervención según el tipo de cierre para la Opción 1 y Opción 2 respectivamente. Se puede observar que, para este caso de estudio, los cierres totales permiten realizar las actividades en una menor cantidad de días que los cierres parciales, aunque esto no implica necesariamente, como se verá más adelante, que los costos de los usuarios sean menores.

Cuadro 3.3. Duración según tipo de cierre para actividades de conservación consideradas para Opción 1: Impermeabilizante y asfalto (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Actividades de conservación	Año de ejecución	Duración (días)	
		Cierre total	Cierre parcial
1 - Reemplazar asfalto	15	3	6
2 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	25	14	20



Cuadro 3.3. Duración según tipo de cierre para actividades de conservación consideradas para Opción 1: Impermeabilizante y asfalto [*continuación*] (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Actividades de conservación	Año de ejecución	Duración (días)	
		Cierre total	Cierre parcial
3 - Reemplazar asfalto	40	3	6
4 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	50	14	20
5 - Reemplazar asfalto	65	3	6
6 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	75	14	20
7 - Reemplazar asfalto	90	3	6

Cuadro 3.4. Duración según tipo de cierre para actividades de conservación consideradas para Opción 2: Recubrimiento de concreto (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Actividades de conservación	Año de ejecución	Duración	
		Cierre total	Cierre parcial
1 - Endurecimiento de superficie	25	1	2
2 - Reemplazar superficie	50	16	38
3 - Reemplazar superficie	75	16	38



3.1.2 Costos de los usuarios

En la propuesta metodológica presentada en la Sección 2.2, se indican que los costos de los usuarios a ser incluidos en el análisis son los asociados a los costos operativos de vehículos (COV) y los costos del tiempo de retraso de los conductores (CTT). En el presente ejemplo, a manera de simplificación, se incluyen únicamente los costos asociados al tiempo de retraso de los conductores o tiempo de traslado (CTT). Los costos unitarios de tiempo de traslado de los usuarios (VTTu), se dividen en este caso en \$23,09/hora para vehículos livianos y en \$62,33/hora para camiones. Los costos anteriores ya incluyen el promedio de pasajeros que viajan según el tipo de vehículo al igual que lo indicado en el Apartado 2.2.3.

A continuación, se describen los dos escenarios del cierre total y el cierre parcial:

- a. Condiciones normales sin intervención: La distancia normal recorrida sin necesidad de desvío corresponde a 1,76 km. La velocidad promedio normal de los usuarios es de 88 km/h.
- b. Cierre total: Implica el cierre por completo del puente y el desvío de los usuarios por una longitud de 4,16 km. La velocidad promedio de los usuarios en el desvío es de 64 km/h (Note que hay una disminución en el nivel de servicio además de la distancia adicional).
- c. Cierre parcial: Se establece una longitud afectada por las zonas de trabajo de 1,76 km en la cual la velocidad máxima de circulación permitida es de 48 km/h.

La información que se utilizará para calcular los costos de los usuarios se resume en el Cuadro 3.5 que se presenta a continuación.



Cuadro 3.5. Resumen de variables utilizadas para cálculo de CTT (Adaptado de SHRP2 SOLUTIONS, 2019).

Condición	Variable	Valor	Unidades
General	TPD (veh/día)	25 000	veh/día
	TPD Camiones (9 %)	2250	veh/día
	VTT _u Vehículos	23,09	\$/hora
	VTT _u Camiones	62,33	\$/hora
Sin intervención	L _n	1,76	km
	v _n	88	km/h
Cierre total	L _d	4,16	km
	v _d	64	km/h
Cierre parcial	L _t	1,76	km
	v _t	48	km/h

Teniendo en consideración las variables resumidas en el Cuadro 3.5, se pueden calcular los costos diarios de tiempo de traslado para cierre parcial y para cierre total. Para resumir los cálculos presentados, se realiza un promedio ponderado del costo VTT_u contemplando el porcentaje de camiones, obteniendo un valor de \$26,62/hora según se muestra en la Ecuación 10.

$$VTT_u = \frac{TPD_{veh} * VTT_{u_{veh}} + TPD_{camión} * VTT_{u_{camión}}}{TPD_{veh} + TPD_{camión}} = \frac{22750 * 23,09 + 2250 * 62,33}{22750 + 2250}$$

$$VTT_u = \$26,62/hora \quad [Ec.10]$$

$$CTT_{total} = \left(\frac{L_d}{v_d} - \frac{L_n}{v_n} \right) * VTT_u * TPD = \left(\frac{4,16}{64} - \frac{1,76}{88} \right) * 26,62 * 25000 \quad [Ec.11]$$



$$CTT_{total} = \$29\,948/\text{día}$$

$$CTT_{parcial} = \left(\frac{L_t}{v_t} - \frac{L_t}{v_n}\right) * VTT_u * TPD = \left(\frac{1,76}{48} - \frac{1,76}{88}\right) * 26,62 * 25000 \quad [\text{Ec. 12}]$$

$$CTT_{parcial} = \$11\,092/\text{día}$$

Considerando los costos de tiempo de traslado diarios presentado en la Ecuación 11 y Ecuación 12, y la duración en días según el tipo de cierre presentado en el Cuadro 3.3 y Cuadro 3.4, se obtienen los costos totales por actividad presentado en los Cuadros 3.6 y Cuadro 3.7.

Cuadro 3.6. Costos totales por mantenimiento Opción 1 (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Actividades de mantenimiento	Año de ejecución	Costo total (\$)	
		Cierre total	Cierre parcial
1 - Reemplazar asfalto	15	\$ 89 844,00	\$ 66.552,00
2 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	25	\$ 419 272,00	\$ 221 840,00
3 - Reemplazar asfalto	40	\$ 89 844,00	\$ 66 552,00
4 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	50	\$ 419 272,00	\$ 221 840,00
5 - Reemplazar asfalto	65	\$ 89 844,00	\$ 66 552,00
6 - Reemplazar impermeabilizante y asfalto	75	\$ 419 272,00	\$ 221 840,00
7 - Reemplazar asfalto	90	\$ 89 844,00	\$ 66 552,00



Cuadro 3.7. Costos totales por mantenimiento Opción 2 (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Actividades de mantenimiento	Año de ejecución	Costo total (\$)	
		Cierre total	Cierre parcial
1 - Endurecimiento de superficie	25	\$ 29 948,00	\$ 22 184,00
2 - Reemplazar superficie	50	\$ 479 168,00	\$ 421 496,00
3 - Reemplazar superficie	75	\$ 479 168,00	\$ 421 496,00

3.1.3 Cálculo de valores presentes

Con el objetivo de poder realizar una comparación final de las dos opciones, deben trasladarse todos los costos al valor presente utilizando la tasa de descuento de 2,6 %. A manera de ejemplo, en la Ecuación 13 se presenta el cálculo del valor presente para la primera actividad del Cuadro 3.6 para cierre total.

$$VP_{Cierre\ total} = 89844 * \frac{1}{(1+0,029)^{15}} = \$58\ 514 \quad [Ec. 13]$$

Este procedimiento debe repetirse para cada uno de los costos futuros presentados, incluyendo los costos de conservación y los costos asociados a los usuarios. Los resultados finales de los valores presentes obtenidos para cada opción se presentan en el Cuadro 3.8.



Cuadro 3.8. Resumen de valores presentes acumulados (Adaptado de SHRP2SOLUTIONS, 2019).

Costos	Opción 1: Impermeabilizante y asfalto		Opción 2: Recubrimiento concreto (6,35 cm)	
	Cierre total	Cierre parcial	Cierre total	Cierre parcial
Costo inicial	\$ 120 000		\$ 40 000	
Costo conservación	\$ 415 592		\$ 199 201	
Costo usuarios (CTT)	\$ 462 712	\$ 267 685	\$ 185 544	\$ 161 176
Total	\$ 998 305	\$ 803 278	\$ 424 745	\$ 400 378

Según los resultados presentados en el Cuadro 3.8, la opción que representa un menor valor presente neto corresponde a la Opción 2 de recubrimiento de concreto, utilizando cierres parciales para las actividades de conservación. Se observa del cuadro que los costos de los usuarios tienden a ser costos altos, comparables inclusive en ocasiones con los costos de la Administración. Por ejemplo, se puede observar que para la opción con los costos de usuario mayores correspondiente a la Opción 1 con cierre total, el CTT corresponde a un 46 % del costo total. Se puede notar adicionalmente que, para este ejemplo, a pesar de que el cierre total genera tiempos de intervención menores, los costos a los usuarios son menores en todos los casos para cierres parciales. Se debe tener claro eso sí, que estos resultados dependerán de las condiciones de cada puente en específico y no deben ser generalizados.



4. CONCLUSIONES

El presente informe es el resultado de la solicitud de asesoría realizada por el CONAVI al LanammeUCR mediante el Oficio DIE-02-19-0250 (24), con respecto a la priorización de puentes del proyecto denominado “Programa de Intervención de Puentes en Estado Deficiente”. Esta asesoría se realiza con el objetivo de contribuir con una iniciativa de la Administración cuyo fin es atender, en el corto a medio plazo, el estado de emergencia y abandono en el que se encuentran los puentes de la Red Vial Nacional, y que representan por lo tanto un riesgo para la seguridad de los usuarios o para la continuidad del servicio.

En el informe se presenta una propuesta metodológica para la inclusión en los carteles de licitación la realización de análisis de costos del ciclo de vida (ACCV) por parte de oferentes o contratistas, para la intervención de puentes que requieran ser rehabilitados o sustituidos. A través del desarrollo del presente informe se logra concluir lo siguiente:

1. Los ACCV permiten determinar la solución más costo-efectiva durante la vida de servicio de los puentes, ya que se consideran, adicional a los costos iniciales, todos los costos de operación a lo largo del ciclo de vida de la estructura, permitiendo minimizar los gastos mientras se mantiene o mejora la condición. Solo tener en cuenta costos iniciales de los proyectos, como típicamente se ha realizado en Costa Rica, no garantiza un uso eficiente de los recursos públicos a mediano y largo plazo.
2. La inclusión del uso obligatorio de los ACCV en los proyectos de intervención de puentes, permite analizar de forma metódica y justificada cuál es la opción más costo-efectiva entre distintas propuestas tanto de sustitución como de rehabilitación, siendo esta última poco implementada a la fecha en Costa Rica en comparación con la primera opción. La solución más eficiente dependerá del análisis de múltiples variables, como lo son los costos de los usuarios y los costos de la Administración, de forma tal que la toma de decisiones sea más informada y mejor sustentada, garantizando la mejor inversión de los recursos públicos.
3. A pesar de que existen diferentes alcances y enfoques para los ACCV, es posible proponer una metodología sencilla, directa y sistemática, pero a la vez bien fundamentada, de forma tal que los mismos puedan ser solicitados de manera obligatoria en los carteles de licitación para la intervención de los puentes del proyecto,



- ya sea en la etapa de ofertas o a nivel de contrato. Lo anterior, ya que existe suficiente información disponible para poder cuantificar las distintas variables requeridas para el ACCV según la metodología simplificada propuesta.
4. El uso de ACCV para la selección de la opción de intervención en las estructuras de puentes, permite contemplar los costos y afectaciones a las que se ven sometidos los usuarios del puente debido a las intervenciones, ya sean parciales o totales. Asimismo, la cuantificación de los costos de los usuarios, ayudará a promover el uso de construcción acelerada de puentes siempre que no haya un detrimento de la calidad, reduciendo los tiempos de la construcción y por ende resultando en múltiples beneficios, como lo son una menor exposición de los usuarios a zonas de trabajo riesgosos y beneficios medio-ambientales asociados a una reducción de la huella de carbono. Este conjunto de beneficios, podrían generar un aumento de la credibilidad por parte de los usuarios en los proyectos de intervención, y mayor voluntad política para mejorar la inversión en conservación y mejoramiento de estructuras de puentes.
 5. El uso de los ACCV es una de las metodologías estándar para la toma de decisiones y asignación de recursos en relación con los proyectos de intervención de puentes en países con sistemas de gestión de puentes que se puedan considerar completos, es decir, los ACCV son un componente obligatorio de los sistemas de gestión de puentes. Inclusive, en países como Estados Unidos, la realización de los análisis de ciclo de vida es mandatorio para los distintos estados que quieran optar por fondos del FAHP (acrónimo del inglés “Federal-Aid Highway Program” o Programa de Ayuda Federal de Carreteras), utilizado para la asistencia con financiamiento de la construcción, operación y conservación del sistema de carreteras (Coley y Lwin, 2013). Por lo tanto, la realización de este tipo de análisis para este proyecto, es de esperar que facilite la implementación de los sistemas de gestión de puentes en Costa Rica, así como la mejora paulatina de la información y el alcance que se utilice.
 6. El hecho de incluir desde la concepción un programa de conservación y mejoramiento del puente, promueve el uso de buenas prácticas de intervención, una mejor durabilidad, mayor probabilidad de una vida de servicio más extendida, y sirve como base para la elaboración del manual de conservación de cada puente en específico.



5. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones hacia la Administración son:

1. Exigir en todos los carteles de licitación de intervención de puentes que impliquen una rehabilitación, una sustitución o la construcción de un puente nuevo, y a partir de esta propuesta, la utilización de análisis de costos del ciclo de vida para la determinación de la solución más costo-efectiva en el largo plazo.
2. La Administración deberá establecer un proceso de control de calidad para asegurar que los programas de conservación que se propongan en los ACCV y sus costos, sean razonables, para evitar que ciertas alternativas sean deliberadamente beneficiadas para fines particulares.
3. Trabajar en la recolección de información y datos de forma tal que las variables que no fueron incluidas en la presente metodología lo sean a futuro. Según se mencionó en el documento, algunas de las variables que no fueron consideradas fueron los costos de los accidentes, costos de riesgos por falla (por eventos extremos, por ejemplo) y costos de impacto ambiental.
4. Cuando haya mayor experiencia en el uso de los ACCV, se recomienda extender su alcance incluyendo análisis de sensibilidad, riesgo, incertidumbres asociadas a través del uso de probabilidad, y en general, herramientas complementarias que permitan mejorar el nivel de información y optimizar la toma de decisiones finales.
5. Trabajar en la actualización de la información y datos, como es el caso de los costos unitarios operativos de vehículos, de forma tal que las variables que si fueron incluidas en la presente metodología den resultados más confiables. Lo anterior, como parte de la mejora continua y actualización que requerirá la metodología para que su uso pueda ser efectivo en cuanto a la optimización de la toma de decisiones.
6. Desarrollar una metodología para análisis costo-beneficio que puede ser utilizada como herramienta futura en la toma de decisiones. Lo anterior, para ser utilizada en los casos en los que la Administración requiera realizar un análisis económico con distintas alternativas que presenten distintos niveles de servicio. Se debe recordar que tal y como se indicó en el documento, un análisis costo-beneficio incluye una mayor cantidad de variables en comparación con los ACCV, por lo que el nivel de incertidumbre cuando no hay suficiente información disponible, podría hacer los resultados menos confiables.



7. Extender el uso de la metodología por medio de la planificación del ciclo de vida, de forma tal que puede ser utilizada como una de las herramientas para planificación de un sistema de gestión de puentes. La herramienta debe ser utilizada en el proceso de priorización de necesidades de atención, ya sean de conservación o mejoramiento, del total de puentes que componen la Red Vial Nacional.
8. Desarrollar curvas de predicción del deterioro (curvas de deterioro) para los distintos componentes, elementos y materiales de los puentes. Asimismo, se deben desarrollar modelos de efectividad de las acciones, a través de los cuales se pueda cuantificar el cambio de estado en un elemento o componente para las distintas acciones de intervención. Tanto las curvas de deterioro como los modelos de efectividad de las acciones, deben ser utilizados en un sistema de gestión de puentes para la priorización y toma de decisiones de colocación de recursos.
9. Establecer reglas claras relacionadas con la aplicación de las actividades de conservación, que permitan homogenizar los criterios para realizar los planes de conservación de las estructuras de puentes. Estas reglas deben establecer un intervalo máximo de ejecución para el mantenimiento cíclico (*mantenimiento rutinario según Ley n°. 7798 de Creación del CONAVI*), mientras que, para las actividades de mantenimiento basado en la condición (*mantenimiento periódico según Ley n°. 7798 de Creación del CONAVI*), se deben establecer reglas que relacionen la condición de los elementos (para los distintos defectos aplicables) a las diferentes actividades de conservación disponibles.
10. Como parte de las mejoras en la efectividad de la inversión a mediano y largo plazo, la construcción acelerada de puentes igualmente seguros pero más durables y con menores necesidades de conservación, y como parte de la integración con las otras acciones de un sistema de gestión de puentes, se recomienda a la Administración la promoción, en donde resulte factible, de soluciones que además faciliten las tareas de conservación e inspección durante la vida de servicio de los puentes, a través de hacer a los componentes y elementos del puente lo más accesibles posible.
11. La Administración debe empezar a migrar hacia la implementación de un verdadero Sistema de Gestión de Puentes (SGP), que permita de manera permanente, sistemática y cíclica, atender de manera efectiva no sólo los puentes con las mayores necesidades



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

funcionales, estructurales o de daño, sino también, en combinación, las tareas de conservación de los puentes que se encuentran en estado regular o deficiente, para así hacer un uso más costo-efectivo de los recursos en el largo plazo.



6. REFERENCIAS

1. Austroroads (2015). *Improved Bridge Deterioration Models, Predictive Tools and Costs*. Austroroads, Sydney, NWS.
2. CONNDOT (2016). *Rehabilitation Study Report Bridge No.01349-Route 136 over Saugatuck River*. State Project No.0158-212. Connecticut Department of Transportation.
3. Coley, N; Lwin, M. (2013). *MAP-21 and Bridge Life-Cycle Cost Analysis*. Federal Highway Administration.
4. FHWA (1998). *Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design*. Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-SA-98-079. ASPIRE, Summer 2013.
5. FHWA (2018). *Bridge Preservation Guide Mainting a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility*. Federal Highway Administration.
6. Hawk, H. (2003). *Bridge Life-Cycle Cost Analysis. National Cooperative Highway Research Program*. NCHRP Report 483. Washington, D.C.
7. Imhof, D. (2004). *Risk Assesment of Existing Bridge Structures*. Ph.D. Dissertation. University of Cambridge, UK.
8. Martínez, J. (2016). *Sistemas de Gestión de Puentes Optimización de estrategias de mantenimiento Implementación en redes locales de carreteras*. Universidad Politécnica de Madrid.
9. Mertz, D.; Wasserman, E. (2017). *Defining the Service Life of Bridges*. Aspire Magazine, Winter 2017. Disponible en:

<http://www.aspiremagazinebyengineers.com/publication/?m=61068&i=609809&p=12&p=1>
10. MnDOT (2015). *Bridge Preservation and Improvement Guidelines*. Bridge Office. Minnesota Department of Transportation.



11. MOPT (2020). Costos operativos de vehículos. Documento Microsoft Excel elaborado por Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
12. MOPT (2015). *Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes MCV-15*. Primera Edición. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
13. MOPT (2018). Informe actualización valor del tiempo. Publicación MOPT-01-0601-009-2018. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
14. Roca, M. (2014). *Comparativa de Análisis de Ciclo de Vida de dos tipos de puente en carretera: puente de hormigón y puente metálico*. UPC BarcelonaTECH.
15. Sánchez, L.; Agüero, J.; Pujol, R. (2015). *Costos de los choques viales en Costa Rica. Universidad d Costa Rica, Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible*.
16. Shirolé, A. (2006). *ABC's of Life Cycle Cost Analysis*. Arora and Associates, P.C. Statewide Conference on Local Bridges.
17. SHRP2 SOLUTIONS (2019). *A briefing on life-cycle cost analysis of new bridge design alternatives*. Strategic Highway Research Program.
18. Sihna, K.; Labi, S.; McCullouch, B.; Bhargava, A.; Bai, Q. (2009) *Updating and enhancing the Indiana Bridge Management System (IBMS)*. Publicación FHWA/IN/JTRP-2008/30. Indiana Department of Transportation.
19. Sobanjo, J. (2001). *Development of Agency Maintenance, Repair & Rehabilitation (MR&R) Cost Data for Florida's Bridge Management System*. Florida State University.
20. Sobanjo, J. (2011). *Enhancement of the FDOT's Project Level and Network Level Bridge Management Analysis Tools*. Florida State University.
21. Salokangas, L. (2013). *Bridge Life Cycle Optimization*. ETSI Project, Stage 3. Aalto University.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

22. Vargas-Alas, L.G., Villalobos-Vega, E. (2019). *Asesoría al CONAVI para el denominado “Programa de intervención de puentes en estado deficiente” Parte 1*. LM-PIE-UP-A01-2019. San José, Costa Rica: Programa de Ingeniería Estructural (PIE), LanammeUCR.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

7. ANEXOS



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 1.
**Resumen de actividades de conservación de puentes y recurrencia
recomendada**



El Cuadro A.1.1. consiste de una compilación de las actividades de conservación y su recurrencia recomendada (en caso de existir) que fueron obtenidas de las siguientes referencias:

- Bowman, M.; Moran, L. (2015). Bridge preservation treatments and best practices. Joint Transportation Research Program. Publication No. FHWA/IN/JTRP-2015/22. West Lafayette, IN: Purdue University. (De ahora en adelante mencionado como JTRP)
- MOPT (2015). Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes. San José, Costa Rica. (De ahora en adelante mencionado como MCV-15)

Cuadro A.1.1. Recopilación de actividades de conservación para puentes

Categoría	Acción	Clasificación	Recurrencia	Fuente
1. Limpieza y lavado de losa	a. Limpieza y barrido de losa.	Cíclico	1 año	JTRP
	b. Lavado de sistema de drenaje.	Cíclico	2 años	JTRP
2. Mantenimiento de losa de concreto	a. Sellado de grietas con epóxico según características de grietas.	Basado en la condición	5 años	JTRP
	b. Relleno de baches superficiales. Acción debe realizarse rápidamente asegurando la eliminación del concreto contaminado y acero de refuerzo dañado.	Basado en la condición	5 años	JTRP
	c. Sellado de la superficie de concreto. Acción a realizar posterior a sellar grietas y baches. Al inicio de la vida útil, el sellado de la losa se recomienda realizar entre 3 y 6 meses posterior a la finalización de la construcción.	Cíclico	5 años	JTRP



Cuadro A.1.1. Recopilación de actividades de conservación para puentes (Continuación)

Categoría	Acción	Clasificación	Recurrencia	Fuente
3. Juntas de expansión	a. Limpieza y lavado de las juntas.	Cíclico	1 año	JTRP
	b. Reparación menor en sellos de juntas.	Cíclico	1 año	JTRP
	c. Reemplazar las juntas.	Basado en la condición	10 años	JTRP
4. Apoyos de puente	a. Lavar apoyos (metálicos y elastoméricos) y superficie de asiento.	Cíclico	2 años	JTRP
	b. Lubricar apoyos metálicos.	Cíclico	4 años	JTRP
	c. Pintura parcial de apoyos metálicos.	Basado en la condición	10 años	JTRP
5. Losas de aproximación	a. Limpieza y barrido de losa.	Cíclico	1 año	JTRP
	b. Lavar de sistema de drenaje.	Cíclico	1 año	JTRP
	b. Sellado de grietas con epóxico según características de grietas.	Basado en la condición	5 años	JTRP
	d. Relleno de baches superficiales. Baches que no sean superficiales deben identificarse ya que pueden asociarse a un problema que podría implicar soluciones mayores.	Basado en la condición	5 años	JTRP
	e. Sellado de la superficie de concreto. Acción a realizar posterior a sellar grietas y baches. Al inicio de la vida útil, el sellado de la losa se recomienda realizar entre 3 y 6 meses posterior a la finalización de la construcción.	Cíclico	5 años	JTRP
	g. Limpieza y lavado de las juntas.	Cíclico	1 año	JTRP



Cuadro A.1.1. Recopilación de actividades de conservación para puentes (Continuación)

Categoría	Acción	Clasificación	Recurrencia	Fuente
	h. Reparación menor en sellos de juntas.	Cíclico	1 año	JTRP
	i. Reemplazar las juntas.	Basado en la condición	10 años	JTRP
6. Limpieza de superestructura	a. Limpieza y lavado de superestructura de acero cada dos años. Verificar que no haya contaminantes cuando se descargue a un cuerpo de agua.	Cíclico	2 años	JTRP
7. Pintura de elementos de acero	a. Pintura parcial de todos los elementos de la superestructura. Esta pintura parcial debe considerarse únicamente cuando menos del 10% del área de la superestructura presenta problemas. En caso contrario, debe valorarse pintura total por zonas u otra alternativa de protección.	Basado en la condición	10 años	JTRP
8. Control de la vegetación	a. Proveer control de vegetación. Eliminar vegetación y/o ramas de árboles que obstruyan la visibilidad. Eliminar vegetación que pueda dañar elementos estructurales. Eliminar vegetación que pueda obstruir el sistema de drenaje.	Cíclico	1 año	JTRP



Cuadro A.1.1. Recopilación de actividades de conservación para puentes (Continuación)

Categoría	Acción	Clasificación	Recurrencia	Fuente
9. Limpieza de escombros en pilas y bastiones	a. Eliminar escombros acumulados en los bordes de pilas y bastiones. Inspecciones puentes posterior a inundaciones.	Cíclico	1 año	JTRP
	a. Limpiar y lavar las conexiones.	Cíclico	2 años	JTRP
10. Conexiones tipo pin y gozne	b. Limpiar y lavar juntas de expansión encima de este tipo de conexiones.	Cíclico	1 año	JTRP
	c. Lubricar superficie de contacto entre los miembros y el pin o el gozne.	Cíclico	4 años	JTRP
	d. Pintura parcial de pines y goznes.	Basado en la condición	10 años	JTRP
	a. Limpieza manual de puentes.	Cíclico	ND	MCV-15
12. Actividades Ley 7798 CONAVI / MCV-15	b. Limpieza de cauces en puentes.	Cíclico	ND	MCV-15
	c. Reparación parcial o reposición total de barandas de puentes.	Cíclico	ND	MCV-15
	d. Reemplazo y contemplación de dispositivos de drenaje del puente.	Cíclico	ND	MCV-15
	e. Limpieza, pintura y reparación o cambio de elementos dañados (estructurales o de protección).	Cíclico	ND	MCV-15
	f. Limpieza de superficie de puentes de concreto o acero con agua a presión.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	g. Limpieza y sellado de grietas en elementos de concreto en puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15



Cuadro A.1.1. Recopilación de actividades de conservación para puentes (Continuación)

Categoría	Acción	Clasificación	Recurrencia	Fuente
	h. Reparación superficial de elementos de concreto en puentes.	Cíclico	ND	MCV-15
	i. Reparación de concreto con corrosión en el acero de refuerzo de puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	j. Reemplazo de juntas de expansión de puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	k. Mantenimiento o reemplazo de dispositivos de apoyo de puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	l. Reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	m. Reparación de superficie de desgaste de concreto asfáltico en puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	n. Preparación y protección de superficies de puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	o. Retiro y reposición de pernos de alta resistencia en puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	p. Reparación de puentes de acero mediante reposición y adición de elementos de acero.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	q. Restitución del contacto suelo-cimentación en puentes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	r. Protección de riberas.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	s. Reparación de puentes de madera mediante reposición y adición de elementos de madera y herrajes.	Basado en la condición	ND	MCV-15
	t. Reparación de muros de contención y refuerzo.	Basado en la condición	ND	MCV-15

Abreviaturas: ND = No disponible.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 2.

Costos de operación y costos de tiempo de traslado de vehículos



El Cuadro A.2.1 y el Cuadro A.2.2 corresponden a la información de costos de operación de vehículos y costos de tiempo de traslado. Estos datos fueron elaborados en forma coordinada por un grupo compuesto por funcionarios de la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT y Planificación Institucional y Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del CONAVI. A diferencia de los datos presentados en el Cuadro 2.2 y Cuadro 2.3, los datos presentados no han sido modificados al realizar un valor promedio para camiones.

Cuadro A.2.1. Costos de operación por cada 1000 km (Fuente: Planificación Sectorial MOPT, 2010)

Velocidad (Km/h)	Liviano de pasajeros	Carga liviana	Buses	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	Camión 5 Ejes
15	₡ 169 497,47	₡ 325 366,30	₡ 358 124,81	₡ 313 924,55	₡ 369 115,21	₡ 367 821,15
20	₡ 140 808,30	₡ 243 514,44	₡ 285 079,95	₡ 244 793,00	₡ 295 149,61	₡ 298 651,97
25	₡ 121 808,37	₡ 188 392,50	₡ 236 533,62	₡ 197 372,87	₡ 246 081,90	₡ 249 287,53
30	₡ 107 763,61	₡ 150 556,08	₡ 201 058,46	₡ 165 556,46	₡ 210 222,84	₡ 219 835,66
35	₡ 97 172,17	₡ 125 379,75	₡ 179 555,12	₡ 142 449,98	₡ 188 463,14	₡ 194 131,09
40	₡ 90 163,77	₡ 111 187,19	₡ 167 741,14	₡ 132 314,95	₡ 176 685,80	₡ 182 792,45
45	₡ 84 119,70	₡ 102 423,76	₡ 161 404,24	₡ 126 229,85	₡ 168 378,93	₡ 183 686,78
50	₡ 80 551,35	₡ 99 720,66	₡ 160 624,13	₡ 125 099,35	₡ 167 800,48	₡ 178 891,78
55	₡ 77 445,84	₡ 99 033,25	₡ 164 147,74	₡ 127 525,65	₡ 171 668,13	₡ 185 992,14
60	₡ 75 821,44	₡ 100 919,45	₡ 166 385,75	₡ 130 675,75	₡ 174 313,50	₡ 190 684,51
65	₡ 73 781,35	₡ 101 950,47	₡ 172 860,93	₡ 135 369,44	₡ 179 331,13	₡ 199 052,73
70	₡ 73 545,60	₡ 105 006,54	₡ 178 864,73	₡ 140 892,14	₡ 185 933,29	₡ 204 335,94
75	₡ 72 073,44	₡ 105 555,27	₡ 183 959,64	₡ 142 898,85	₡ 189 778,55	₡ 211 732,91
80	₡ 71 215,80	₡ 106 372,10	₡ 188 775,62	₡ 147 165,84	₡ 193 340,10	₡ 219 252,30
85	₡ 70 800,09	₡ 107 810,29	₡ 193 466,54	₡ 151 238,91	₡ 198 846,28	₡ 229 717,37
90	₡ 70 800,09	₡ 107 810,29	₡ 193 466,54	₡ 151 238,91	₡ 198 846,28	₡ 229 717,37



Cuadro A.2.1. Costo de tiempo de viaje en colones/hora (Fuente: Planificación Sectorial MOPT, 2018)

Material	₡/hora
Liviano de pasajeros	4 687,00
Carga liviana	3 137,00
Bus	52 646,00
Camión (Promedio)	2 332,00
Carga pesada 3 ejes	1 713,00
Carga pesada 5 ejes	1 792,00



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 3. Glosario



- **Ciclo de vida:** Secuencia de acciones, resultados, eventos y consecuencias que se asocian a las etapas de diseño, construcción y uso de un puente a lo largo de su vida de servicio (Hawk, 2003).
- **Conservación:** Consiste en la ejecución de un conjunto de acciones ejecutadas en los distintos componentes de un puente con el objetivo de prevenir, retardar o reducir el deterioro de los mismos, manteniendo su integridad y funcionalidad a lo largo de su vida de servicio (FHWA, 2018).
- **Mantenimiento rutinario:** También conocido como mantenimiento cíclico, corresponde al conjunto de acciones que se ejecutan de manera continua según un intervalo de tiempo predefinido con el objetivo de preservar la condición operativa, nivel de servicio y la seguridad de las estructuras de puentes. A pesar de que la condición no es directamente mejorada, se espera que el deterioro sea retrasado y por ende la vida de servicio sea extendida (FHWA, 2018).
- **Mantenimiento periódico:** También conocido como el mantenimiento basado en la condición, corresponde al conjunto de acciones que son programadas como medida de respuesta ante deterioros o defectos que son identificados mediante el proceso de inspección de puentes. A diferencia de las actividades de mantenimiento rutinario, la condición del elemento intervenido puede ser o no ser mejorada (FHWA, 2018).
- **Vida de diseño:** Periodo de tiempo en el que se basa la derivación estadística de las cargas transitorias, siendo este periodo 75 años para las especificaciones de diseño AASHTO LRFD (Mertz & Wasserman, 2017).
- **Vida de servicio:** Periodo de tiempo desde un momento definido, normalmente asociado a la finalización de la construcción y puesta en operación, que es esperado que transcurra antes de que el puente alcance condiciones de servicio inaceptables (Hawk, 2003).