

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Rommel Cuevas Kauffmann, Ing. Giannina Ortiz Quesada, Ing. Manuel Alán Zúñiga, Ing. Gerardo Páez González, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Rommel
Lezing Cuevas
Kauffmann

Firmado digitalmente
por Rommel Lezing
Cuevas Kauffmann
Fecha: 2021.05.05
10:22:16 -06'00'

GIANNINA ORTIZ
QUESADA
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por GIANNINA ORTIZ
QUESADA (FIRMA)
Fecha: 2021.05.04
13:18:13 -06'00'

Ing. Rommel Cuevas Kauffmann.
En representación del Director

Ing. Giannina Ortiz Quesada.
Profesora Guía

MANUEL
ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA
(FIRMA)

Digitally signed by
MANUEL ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA
(FIRMA)
Date: 2021.05.02
09:33:56 -06'00'

Firma digital por : BYRON GERARDO PAEZ GONZALEZ (FIRMA)
Fecha: 2021.05.04 09:46:01 -06:00
Razón: Estoy aprobando
Localización: Tecnológico de Costa Rica

TTC | Tecnológico
de Costa Rica

Ing. Manuel Alán Zúñiga.
Profesor Lector

Ing. Gerardo Páez González.
Profesor Observador

Procedimiento para la gestión de las intervenciones de los puentes para el CONAVI

Abstract

This document consists in the preparation of a bridge management plan for the Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).

To achieve the drafting of this plan as the first objective, it proceeded to do a bibliographic research in 3 main axes. First, the management of transportation assets and the benefits it brings was investigated. Next, the development of a bridge maintenance management plan was also investigated. As a third point, know about the management of bridges by CONAVI in the country, was searched. The first two points were based primarily the Federal Highway Administration (FHWA) and the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

As a second specific objective, an inside diagnosis about CONAVI's bridge's management was made. For this, an analysis was carried out with the information provided by the entity. It was considered: the present plan, the procedures that are available and the organizational structure.

The third objective consisted in the preparation of the bridge maintenance management plan, for being adopted by CONAVI.

Finally, it is intended that the proposed plan be useful for CONAVI's senior commanders in charge of managing the bridges. So that there is an effective guide based on good practices seeking to improve the maintenance management of the bridges of the national road network.

Key Words: Bridge, Management, Maintenance, CONAVI.

Resumen

El presente documento consiste en la elaboración de un plan de gestión de puentes para el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).

Para lograr la redacción de este plan como primer objetivo se procedió a una investigación bibliográfica en 3 ejes principales. Primeramente, se investigó sobre la gestión y mantenimiento de puentes y los beneficios que aporta. Luego, sobre la elaboración de un plan de gestión de mantenimiento de puentes. Como tercer punto se buscó conocer la gestión de puentes a cargo del CONAVI en el país. Los primeros dos puntos se basaron principalmente en lo que dicta la Federal Highway Administration (FHWA) y la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO).

Como segundo objetivo específico se realizó un diagnóstico a lo interno del CONAVI en cuanto a la gestión de puentes. Para ello se realizó un análisis con la información suministrada por la entidad. Se tomó en cuenta: el plan presente, los procedimientos con los que se cuenta y estructura organizacional.

El tercer objetivo consistió en la elaboración del "Plan de gestión de mantenimiento de puentes", para que sea adoptado por el CONAVI.

Finalmente, se busca que el plan propuesto sea de utilidad para los altos mandos del CONAVI, encargados de la gestión de los puentes. De manera que se tenga una guía efectiva basada en buenas prácticas, para buscar mejorar la gestión del mantenimiento de los puentes de la red vial nacional.

Palabras Clave: Puente, Gestión, Mantenimiento, CONAVI.

Procedimiento para la gestión de las intervenciones de los puentes para el CONAVI

GERARDO CAMPOS CHACÓN

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

Abril del 2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	5
Marco Teórico	5
Metodología	16
Resultados	18
Análisis de los resultados.....	25
Conclusiones.....	29
Recomendaciones	30
Referencias	31
Apéndices	33

Prefacio

El proyecto tiene su justificación en la necesidad de implementar un plan para la gestión de los puentes de Costa Rica. Los puentes representan el mayor costo de la infraestructura vial. De allí se deriva, la gran importancia de darles el adecuado mantenimiento, para mantener el periodo de vida útil e incluso alargarlo. El ente encargado de administrar los puentes de rutas nacionales en Costa Rica, es el CONAVI.

Se tiene como objetivo principal brindar un plan de gestión de mantenimiento en el que se detallan las mejores prácticas en esta materia. El mismo se adecuará a la estructura interna del CONAVI. De esta forma, se tendrá una mejor gestión, para buscar a su vez un mejor aprovechamiento del tiempo y los recursos.

Finalmente, el autor del proyecto brinda un agradecimiento a Dios que ha dado las fuerzas y capacidad para llevar este proyecto a cabo. También se agradece a toda su familia que siempre estuvo a lo largo del proceso de estudio. Igualmente, se extiende el agradecimiento a todas aquellas personas que fueron de apoyo en el proceso de elaboración de este escrito y finalización de la carrera universitaria, en especial a la familia Elizondo.

También, hacer una mención a Giannina Ortiz y Gerardo Páez miembros del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP). Además, agradecer a Sonia Vargas por toda su atención en el proceso y a Melissa Salas por abrir las puertas para este proyecto.

Resumen ejecutivo

En el presente proyecto se procedió a la elaboración de un Manual para la implementación de un sistema de gestión de puentes. Se busca que agencias y entidades dedicadas a esta labor encuentren en este Manual una guía simple, para realizar una adecuada gestión del mantenimiento basada en las buenas prácticas.

Inicialmente se procedió a una etapa de recopilación de información en tres áreas principales, las cuales se detallan a continuación:

1. Gestión y Mantenimiento de puentes.
2. Proceso para desarrollar un plan de gestión de mantenimiento de puentes.
3. Gestión de Activos de Transporte desarrollada por parte del CONAVI.

La gestión de mantenimiento de puentes fue abordada primeramente desde lo desarrollado en Costa Rica y posteriormente por entidades expertas. En la sección de Marco Teórico se menciona el trabajo de Costa Rica en cuanto al tema. En cuanto a los esfuerzos de otros, FHWA y AASHTO resaltan, brindando dando grandes aportes.

En la segunda área de investigación, se destaca lo que FHWA dictamina. Se tomó como material principal 3 cursos online que ellos ponen a disposición del público. Los mismos son complementarios entre si y logran desarrollar las bases para establecer un programa de mantenimiento de puentes. Estos cursos fueron: “Bridge Management Fundamentals”, “Establishing a Bridge Preservation Program” y “Communication Strategies for Bridge Preservation”.

En el área de la gestión por parte del CONAVI se procedió a investigar en publicaciones e información que la entidad pudiese suministrar. Siendo esta información vital para poder realizar un diagnóstico y un correcto análisis.

En cuanto a las publicaciones se logró encontrar que la Ley 7798 faculta al CONAVI como el ente encargado del mantenimiento de la RVN, siendo este una entidad derivada del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) A su vez se encontró que el CONAVI no ha ejercido un claro liderazgo entorno al mantenimiento de puentes. Los primeros avances se dieron en el 2013 cuando se toma la iniciativa por parte de la entidad en realizar un inventario de los puentes de la RVN.

Anterior al año 2013 se encuentran aportes por parte del MOPT en la realización de los documentos “Manual de Inspección de Puentes” y “Lineamiento para Mantenimiento de Puentes”

Entre la información encontrada se destaca una auditoría realizada por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) al CONAVI. La auditoría menciona que el este no tiene un rumbo claro y además se ha saltado procesos en la correcta aplicación, de un programa de mantenimiento de puentes.

En cuanto a la información suministrada por la entidad se contó con la ayuda de Melissa Salas encargada por parte del CONAVI en este proyecto. La misma proveyó información valiosa en cuanto a procedimientos que se siguen en la entidad, entorno a la gestión de puentes. Asimismo, se contó con la ayuda de Anthony Rivera quien suministró información del estado y uso de la herramienta SAEP en la actualidad. Finalmente, se buscó contactar a los directores regionales del CONAVI, encargados de los programas de preservación de puentes, mas no fue posible. Se tuvo como gran limitante lo anterior, ya que no fue posible recabar toda la información necesaria para la elaboración del diagnóstico.

Seguidamente, se procedió a agrupar las fuentes consultadas y resumir la información para de esta forma tener un panorama claro. (Ver Apéndice 3.)

Como segundo objetivo se tuvo la elaboración de un diagnóstico para el CONAVI en la gestión de

mantenimiento de puentes. Para ello, se procedió a realizar una selección de las principales buenas prácticas sobre la materia. Las mismas fueron validadas por Gianinna Ortiz, Directora del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), estas se presentan en el Cuadro 2. Al enfocar el diagnóstico en el área de lo desarrollado por el CONAVI, se tuvo como fuente principal de buenas prácticas el material del curso “Establishing a Bridge Preservation Program” de la Federal Highway Administration (FHWA). Este material detalla los principios o procesos que se deben tener para implementar un programa de preservación de puentes.

Seguido a ello, se determinó el cumplimiento de las buenas prácticas por parte del CONAVI. En el Cuadro 3. se determina el estado de cumplimiento. Teniendo como resultado que de 38 buenas prácticas en 21 no se cumplían. Asimismo, en algunas no se logró determinar su estado de cumplimiento, ya que como se mencionó no fue posible contactar a los encargados de proveer dicha información. Posteriormente, en la sección de Análisis de Resultados se discutió sobre los obtenidos del diagnóstico.

Como tercer y último objetivo se tuvo la creación de un Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes. Se espera que este sea un insumo para el CONAVI y cualquier otra entidad que desee implementar un sistema de gestión de mantenimiento de Puentes. Para ello se tomó la información recopilada en los primeros dos temas mencionados al inicio de esta sección.

Con esta información, se procedió a la creación del Manual, para ello fue necesario la escogencia de fuentes principales para seguir una sola estructura y no una mezcla de opiniones. Por lo que se tomó lo que AASHTO y FHWA dictan en la materia. A selección se dio por la experiencia y cantidad y calidad de información provista. El Manual consiste en una serie de pasos para la implementación de un plan de gestión de mantenimiento de puentes.

Adicional al Manual se realiza una pequeña propuesta de intervención por parte del CONAVI para los puentes de la Red Vial Nacional (RVN), la misma se presenta en el Apéndice 2.

Con el desarrollo de este proyecto se logró concluir lo siguiente:

1. Se logró investigar sobre la Gestión de Mantenimiento de Puentes, tanto en Costa Rica como fuera del área.

2. Se logró realizar un diagnóstico de la gestión de mantenimiento de puentes al CONAVI. Se determinó una gestión deficiente. En el que de un total de un total de 38 buenas prácticas, 21 no se cumplían.
3. Se desprende del diagnóstico realizado al CONAVI, que el área de Administración es donde más se presentaron inconsistencias.
4. Se desarrolló el Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes en el que se detalla la filosofía de la gestión de activos. Además de presentar una guía para la implementación de un Plan de Gestión de Puentes basado en las buenas prácticas.

A su vez se dieron las siguientes recomendaciones al CONAVI en torno a la gestión de mantenimiento de puentes:

1. Se recomienda al CONAVI la adopción de un modelo de gestión de mantenimiento de puentes donde no se trabaje bajo el modelo “lo malo primero”. Se entiende que esto requiere una inversión de dinero alta, pero la teoría indica que los beneficios a largo plazo serán mayores.
2. Se recomienda al CONAVI realizar un estudio de antecedentes y diagnóstico interno para tomar en cuenta todos los departamentos que intervienen en la gestión de mantenimiento. De esta forma se pueden encontrar falencias a lo interno de la organización.
3. Se recomienda al CONAVI brindar capacitaciones a sus funcionarios sobre la gestión de activos viales y las buenas prácticas en la gestión de mantenimiento de puentes.
4. Se recomienda al CONAVI concentrar sus esfuerzos en el direccionamiento de la organización en el que se defina un alcance, objetivos, metas y medidas de desempeño.
5. Se recomienda al CONAVI la mejora del SAEP o la adopción de un sistema de gestión de puentes que sea capaz de desarrollar funcionamientos básicos de un sistema de gestión de puentes.
6. Se recomienda al CONAVI la ampliación de actividades de mantenimiento rutinario, además de la limpieza de puentes.

Introducción

El presente proyecto se realizó para optar por el grado de Licenciatura de la carrera de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica. El mismo fue desarrollado para la gerencia de Conservación Vial del CONAVI, encargada del mantenimiento de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Además, se contó con la asesoría de los funcionarios del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes del Tecnológico de Costa Rica. Este programa fue el encargado de realizar un levantamiento del inventario nacional de puentes y además desarrolla diversas pruebas en puentes nacionales.

Los puentes son los componentes más caros de la red vial y de gran importancia por el papel que juegan, ya que pueden cortar el libre tránsito en lugares vitales para el país. Asimismo, su mantenimiento es necesario para conservarlos en buenas condiciones. Sin embargo, los puentes de la red vial nacional, no han recibido el adecuado mantenimiento y algunos se encuentran bastante deteriorados. En el año 2009 se dio el colapso de un puente de hamaca sobre el río Tárcoles. De acuerdo con Fernández (2009) en aquella ocasión 5 personas perdieron la vida y 38 resultaron heridas. Por razones como esta es necesario darle el adecuado mantenimiento a los puentes para así evitar eventos como el mencionado.

Este proyecto surge de la necesidad de implementar un plan de gestión de puentes para el CONAVI. El mismo busca ser de insumo para la gestión, que realiza la entidad mencionada en torno a la materia. Además de servir como guía para municipalidades y cualquier otra entidad que se encargue del mantenimiento de puentes. Es por ello que el presente proyecto busca la realización de un manual de gestión de mantenimiento de puentes.

Con el fin de lograr el fin propuesto se tiene como primer objetivo investigar sobre la Gestión de Mantenimiento de Puentes y sus buenas prácticas.

Para lograr lo anterior, se tuvieron dos ejes de investigación principales. En el primer eje de investigación se tiene lo desarrollado de gestión de puentes en Costa Rica. Para lo cual se logró encontrar avances realizados por distintas entidades sobre el tema. También se obtuvo información sobre el funcionamiento del CONAVI y su gestión actual. Como segundo eje de información se logró encontrar que las guías de gestión principales provienen de la FHWA y AASHTO. Se tomó como principal insumo lo dictaminado por este primer ente.

Como segundo objetivo se tiene que realizar un diagnóstico de la gestión de mantenimiento de puentes del CONAVI. De este objetivo se obtuvo que la gestión de dicha entidad ha sido deficiente.

Para el tercer objetivo se tiene redactar un Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes. Se espera que este sea de utilidad para el CONAVI y cualquier otra agencia dedicada al mantenimiento de puentes.

En las conclusiones se destaca que se logró evidenciar que el mayor problema del CONAVI radica en el no establecimiento del rumbo de la organización. Se concluye de igual forma, que el Manual de Gestión de Puentes es tan solo una guía de pasos, pero el éxito radica en que el usuario sea capaz de desarrollar los mecanismos planteados y crear las herramientas que se proponen.

Marco Teórico

Antes de realizar un plan de gestión para el mantenimiento de puentes es necesario conocer conceptos relevantes en la materia. Asimismo, saber lo que la literatura detalla al respecto y realizar un abordaje sobre los avances en la materia a nivel del país, en este caso Costa Rica. De esta forma se puede tener conocimiento del tema y una visión de lo que ha desarrollado Costa Rica en la materia. También se tiene un punto de partida para proponer un plan de gestión de mantenimiento.

- cerchas y arco) y los elementos secundarios (diafragmas, sistemas de arriostamiento, portales, aceras, etc).” (MOPT, 2007, p.3).
- **Subestructura:** “Comprende los apoyos, los bastiones y las pilas.” (MOPT, 2007, p.3)
- **Accesos de Aproximación:** “Están compuestos por los rellenos con sus respectivas protecciones y la losa de aproximación cuando exista.” (MOPT, 2007, p.3).

Puente y sus Componentes

“Los puentes son quizás el componente más importante de la infraestructura vial, debido a que se convierten en el principal cuello de botella en cuanto a capacidad de carga y funcionalidad de tráfico, y en caso de colapso, la ruta completa queda fuera de operación. Además, típicamente representan el componente más caro por metro lineal en la construcción de carreteras.” (Garita, Ortiz & Mora-Mora, 2018, p.65).

MOPT (2007) menciona que los puentes son estructuras que se construyen para salvar un cauce o extensión de agua. Asimismo, sus componentes se detallan a continuación:

- **Accesorios:** “Elementos sin función estructural pero vitales para garantizar el buen funcionamiento del puente tales como superficie de rodamiento, barandas y juntas de expansión.” (MOPT, 2007, p.3).
- **Superestructura:** “Compuesta por el piso, los elementos principales (vigas,

Gestión de Puentes

Federal Highway Administration (2018) define la gestión de activos como un proceso estratégico y sistemático de operación, mantenimiento y mejora a los activos. Lo anterior bajo un análisis económico e ingenieril basado en la recopilación de información. De esta forma, se traza un plan de mantenimiento, preservación, reparación, rehabilitación y actividades de reemplazo. Por lo que finalmente, se garantiza el buen estado de los activos durante su vida útil a un bajo costo.

De acuerdo con AASTHO (2002) la gestión de activos de transporte se debe guiar por una serie de principios básicos que se presentan a continuación:

1. Políticas bien definidas que se relacionen con objetivos claros y medidas de desempeño.
2. Roles, responsabilidades y procesos que reflejen las políticas y objetivos de desempeño.
3. Información de calidad en todas las etapas de la gestión. Así como la capacidad de actualizar la base de información.

4. Estudio de la variedad de opciones para resolver problemas en la infraestructura.
5. Enfoque integral en la toma de decisiones para la inversión en transporte. En el que se considere el sistema como un todo.
6. La capacidad de entregar programas de capital, mantenimiento y operaciones en términos de tiempo, costo, calidad de ingeniería y uso efectivo de recursos departamentales y externos.
7. Enfocar la gestión en el servicio al usuario, responsabilidad por el desempeño y la rentabilidad.

Entre la definición de gestión de activos dada por Federal Highway Administration (2018) contempla el mantenimiento de puentes. Es por lo que dentro de la gestión debe de existir un programa definido que atienda las labores de mantenimiento.

De acuerdo con la Federal Highway Administration (2018) un programa de mantenimiento de puentes tiene como meta frenar el deterioro de los puentes, así como alargar su vida de servicio.

Previo a establecer un sistema de gestión de mantenimiento es de suma importancia tener claros conceptos relevantes al tema. A continuación, se detallan los mismos:

Mantenimiento: Según la Federal Highway Administration (2018) se define el mantenimiento como todo aquel trabajo que se realiza para mantener la funcionalidad del sistema de transporte o bien aquellos que se dan en respuesta a eventos específicos.

Mantenimiento de Rutina: Federal Highway Administration (2018) menciona que es el mantenimiento que se da en respuesta a eventos, temporadas, actividades, entre otros.

Mantenimiento Preventivo: Federal Highway Administration (2018) especifica que el mantenimiento preventivo es una estrategia para extender la vida de servicio de los puentes para retrasar el deterioro y evitar rehabilitación y reemplazos.

Mantenimiento Cíclico: Federal Highway Administration (2018) establece que son actividades de mantenimiento que se desarrollan en momentos ya especificados, para preservar y retrasar el deterioro de los componentes. Detalla a su vez que la frecuencia de las actividades responde al ambiente y las condiciones a las que las estructuras están expuestas.

Mantenimiento Bajo Condiciones: Federal Highway Administration (2018) define el mantenimiento bajo condiciones como aquellas actividades que se dan en respuesta a efectos ya conocidos.

Rehabilitación: Federal Highway Administration (2018) determina la rehabilitación como las actividades necesarias para restaurar la integridad estructural del puente, así como el trabajo para corregir defectos de seguridad importantes.

Reemplazo: Federal Highway Administration (2018) hace referencia a que son aquellas actividades en las que se reemplaza un puente ya existente mediante obras de construcción que se dan en el mismo lugar de este.

Vida de Diseño: Federal Highway Administration (2018) define la vida de diseño como el periodo en el que se espera que los componentes, elementos o el puente mismo cumpla las funciones para las que se diseñó mientras se mantienen los estándares de diseño, construcción y mantenimiento.

Vida de Servicio: Federal Highway Administration (2018) determina que la vida de servicio es el tiempo en el que los componentes, elementos o el puente brinda la función deseada y permanece en servicio con las adecuadas actividades de servicio. Asimismo, se añade que la vida de servicio, se puede extender con mantenimiento preventivo y actividades de mantenimiento bajo condición.

Federal Highway Administration (2018) explica que un programa de preservación de puentes representa beneficios económicos a pesar de los costos en que se debe incurrir para su operación. Lo anterior se logra al aumentar la vida de servicio de las estructuras generando la disminución de costos de rehabilitación y reemplazo. En la Figura 1. se muestra cómo se extiende la vida de servicio. Primeramente, se presenta la vida de servicio de un puente sin mantenimiento (curva punteada izquierda). Seguidamente, la de un puente que recibió mantenimiento cíclico y bajo condición (curva sólida derecha). Asimismo, la curva de la derecha finaliza de manera punteada, pues es la zona donde no se aplica mantenimiento, sino actividades de rehabilitación y reemplazo como más adelante se explica.

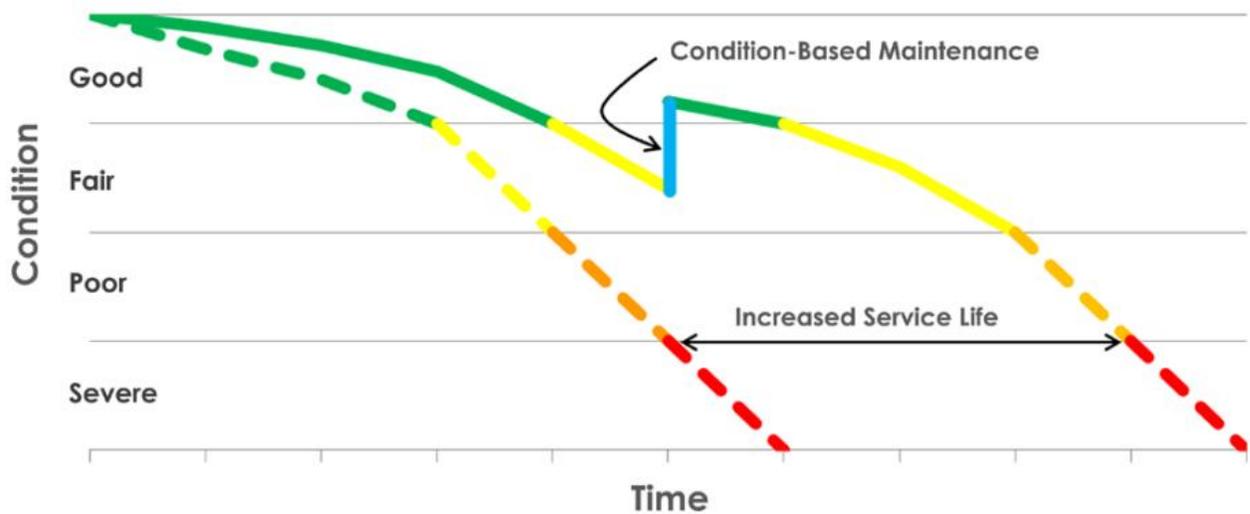


Figura 1. Beneficios de un programa de preservación de puentes.
 Fuente: Federal Highway Administration (2018)

De acuerdo con la Federal Highway Administration (2018) las actividades en un

programa de mantenimiento de puentes se estructuran de acuerdo con la Figura 2.



Figura 2. Actividades de mantenimiento dentro de un programa de gestión de puentes.
 Fuente: Federal Highway Administration (2018)

Por su parte en la Figura 3. se detalla el campo de acción de cada uno de los programas. Como se observa, este se delimita por el estado

de los elementos del puente, sea bueno, razonable, malo o severo.

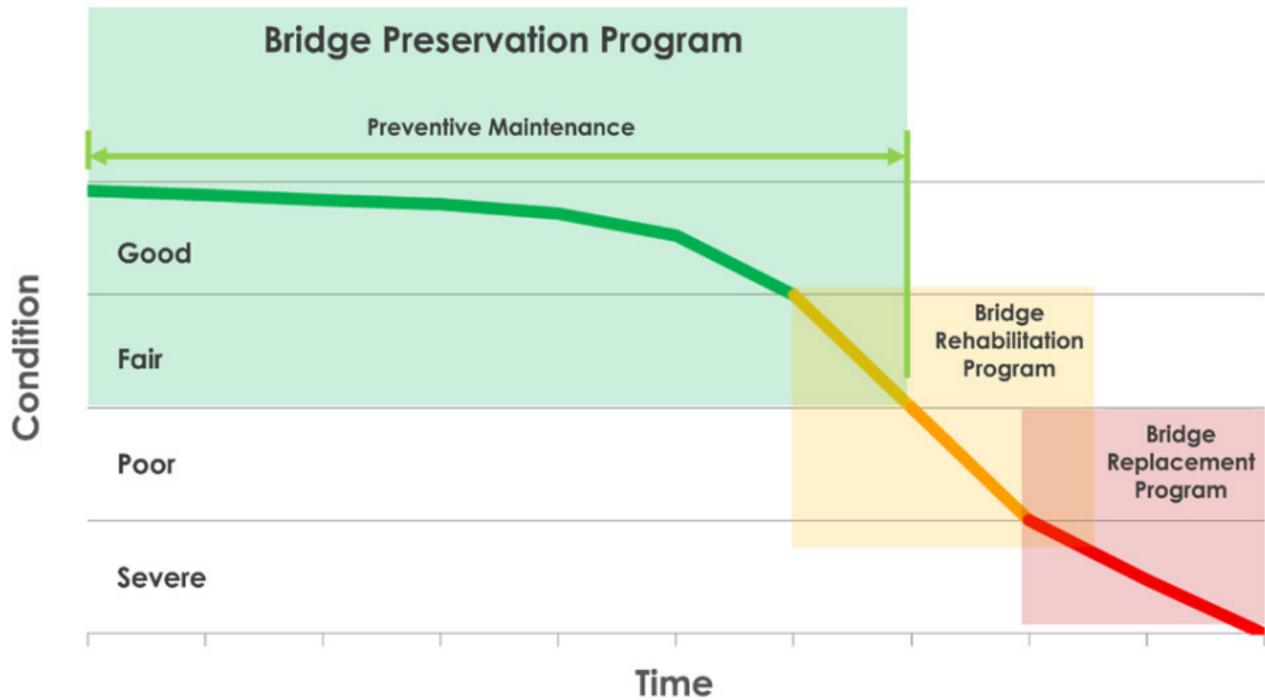


Figura 3. Actividades que realizar de acuerdo con la condición de los elementos.
 Fuente: Federal Highway Administration (2018)

Como se observa en la figura anterior hay zonas en las que los programas de mantenimiento preventivo, rehabilitación y reemplazo se intersecan. Para ello Federal Highway Administration (2008) propone una forma de clasificación para determinar las intervenciones con base en la condición de los elementos. A su vez, el estado de los elementos de un puente se determina por el grado de deterioro. El Cuadro 1. indica las actividades por realizar de acuerdo con el grado de deterioro asociado.

Cuadro 1. Acciones con Base en el Estado de los Elementos		
Grado de Deterioro	Detalle	Actividades
1	Satisfactorio	Preservación/ Mantenimiento Cíclico
2	Aceptable	Mantenimiento Cíclico o mantenimiento bajo condición
3	Inaceptable	Mantenimiento bajo condición

		Rehabilitación cuando el mantenimiento bajo condición no es rentable.
		Reemplazo cuando su costo es favorable versus mantenimiento bajo condición
4	Deficiente	Rehabilitación o Reemplazo

Fuente: elaboración propia a partir de datos de (Federal Highway Administration, 2018)

En el Apéndice 1. se brinda un resumen de la gestión de mantenimiento de puentes. Se describe la filosofía de activos de transporte y aspectos importantes que la teoría contempla en un plan de gestión de mantenimiento de puentes

Gestión y Mantenimiento de Puentes en Costa Rica

Gran parte de los puentes de Costa Rica son bastante antiguos e inclusive algunos se encuentran en un estado crítico por su edad. Ortiz (2012) menciona: “Según datos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), la mayoría de estos puentes fueron construidos entre los años 1955 y 1965. Eso implica que alrededor del 40% de las estructuras ya han alcanzado su vida útil, la cual se estima en 50 años y el costo estimado de reposición es de \$ 597 millones”. (p.10).

Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018) indican que la mayor parte de las estructuras de puentes fueron construidas hace más de 30 años. Detallan que: “la inversión en mantenimiento y actualización ha sido mínima. Esto ha conducido a que muchos puentes presenten daños o deficiencias detectables visualmente en diferentes elementos de la estructura tales como seguridad vial, losas, juntas de expansión y drenajes”. (p.65).

“Según evaluaciones realizadas por el Programa de Evaluación de Puentes del TEC, gran cantidad de estos problemas son producto de la falta de un plan de monitoreo y mantenimiento continuo de las estructuras, de tal manera que las intervenciones requeridas se realicen a tiempo.” (Garita, Ortiz & Mora-Mora, 2018, p.65).

En el año 1998 se da la creación del CONAVI, mediante la Ley 7798. Se estable al CONAVI una entidad perteneciente al MOPT. En el artículo 1. de la ley se establecen definiciones relacionadas a la conservación, las cuales se detallan a continuación:

Red vial nacional: Conjunto de carreteras nacionales determinadas por el Consejo Nacional de Vialidad con sustento en los estudios técnicos respectivos. (Ley 7798)

Calles de travesía: Conjunto de carreteras públicas nacionales que atraviesan el cuadrante de un área urbana o de calles que unen dos secciones de carretera nacional en el área referida, de conformidad con el artículo 3 de la Ley General de Caminos Públicos. (Ley 7798)

Conservación vial: Conjunto de actividades destinadas a preservar, en forma continua y sostenida, el buen estado de las vías, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario. La conservación comprende actividades tales como el mantenimiento rutinario y periódico, la rehabilitación y el refuerzo de la superficie de ruedo, así como el mantenimiento y la rehabilitación de las estructuras de puentes. La conservación vial no comprende la construcción de vías nuevas ni partes de ellas; tampoco, la reconstrucción ni el mejoramiento de vías. La restauración de vías provocada por emergencias no forma parte de la conservación vial, salvo lo dispuesto por la presente ley como excepción. (Ley 7798)

Mantenimiento rutinario: Conjunto de labores de limpieza de drenajes, control de vegetación, reparaciones menores y localizadas del pavimento y la restitución de la demarcación, que deben efectuarse de manera continua y sostenida a través del tiempo, para preservar la condición operativa, el nivel de servicio y seguridad de las vías. Incluye también la limpieza y las reparaciones menores y localizadas de las estructuras de puentes. (Ley 7798)

Mantenimiento periódico: Conjunto de actividades programables cada cierto período, tendientes a renovar la condición original de los pavimentos mediante la aplicación de capas adicionales de lastre, grava, tratamientos superficiales o recarpeteos asfálticos o de secciones de concreto, según el caso, sin alterar la estructura de las capas del pavimento subyacente. El mantenimiento periódico de los puentes incluye la limpieza, pintura y reparación o cambio de elementos estructurales dañados o de protección. (Ley 7798)

Rehabilitación: Reparación selectiva y refuerzo del pavimento o la calzada, previa demolición parcial de la estructura existente, con el objeto de restablecer la solidez estructural y la calidad de ruedo originales. Además, por una sola vez en cada caso, podrá incluir la construcción o reconstrucción del sistema de drenaje que no implique construir puentes o alcantarillas mayores. Antes de cualquier actividad de rehabilitación en la superficie de ruedo, deberá verificarse que el sistema de drenaje funcione bien. La rehabilitación de puentes se refiere a reparaciones mayores, tales como el cambio de elementos o componentes estructurales principales o el cambio de la losa del piso. (Ley 7798)

Reconstrucción: Renovación completa de la estructura del camino, con previa demolición parcial o total de la estructura del pavimento o las estructuras de puente. (Ley 7798)

Mejoramiento: Mejoras o modificaciones de estándar horizontal o vertical de los caminos, relacionadas con el ancho, el alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal, a fin de incrementar la capacidad de la vía, la velocidad de circulación y aumentar la seguridad de los vehículos. También se incluyen dentro de esta categoría, la ampliación de la calzada, la elevación del estándar del tipo de superficie ("upgrade") de tierra a lastre o de lastre a asfalto, entre otros, y la construcción de estructuras tales como alcantarillas grandes, puentes o intersecciones. (Ley 7798)

Obras nuevas: Construcción de todas las obras viales que se incorporen a la red nacional existente, de acuerdo con la presente ley. (Ley 7798)

Adicional a los conceptos anteriores se destacan los objetivos del CONAVI detallados en el artículo 4 de la Ley 7798, estos se mencionan a continuación:

a) Planear, programar, administrar, financiar, ejecutar y controlar la conservación y la construcción de la red vial nacional, en concordancia con los programas que elabore la Dirección de Planificación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (Ley 7798)

b) Administrar su patrimonio. (Ley 7798)

c) Ejecutar, mediante contratos, las obras, los suministros y servicios requeridos para el proceso de conservación y construcción de la totalidad de la red vial nacional. (Ley 7798)

d) Fiscalizar la ejecución correcta de los trabajos, incluyendo el control de la calidad.

e) Promover la investigación, el desarrollo y la transferencia tecnológica en el campo de la construcción y conservación vial. (Ley 7798)

f) Celebrar contratos o prestar los servicios necesarios para el cumplimiento de sus objetivos y funciones. (Ley 7798)

“Debido a la ausencia de mantenimiento y de información sobre la condición de los puentes en la RVN, al final de la década de 2000, algunos puentes ubicados en rutas importantes de la RVN comenzaron a presentar problemas graves que ponían en riesgo la seguridad de sus usuarios.” (LanammeUCR, 2018, p.9).

La gestión de mantenimiento de puentes en Costa Rica, ha cobrado importancia en los

últimos años. Se han dado avances desde distintos ángulos con el fin de fortalecer el mantenimiento y gestión de los puentes. Instituciones como el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), CONAVI, Tecnológico de Costa Rica (TEC) y el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) han hecho aportes en este campo. Es de importancia conocer los avances que se han dado gracias a estas instituciones.

En respuesta a la petición del Gobierno de la República de Costa Rica, el Gobierno de Japón ha decidido conducir el estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación, rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes, basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica confiándolo a la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) (JICA, 2007).

En el marco de esta cooperación MOPT (2007) menciona: “El Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) con una donación de la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA) durante el “Estudio sobre el Desarrollo de Capacidad en la Planificación de Rehabilitación, Mantenimiento y Administración de Puentes, basado en 29 puentes de la Red de Carreteras Nacionales en Costa Rica”, desarrolla el componente “Manual de Inspección de Puentes” Asimismo, se da la publicación de: “Lineamiento para Mantenimiento de Puentes”.

MOPT (2007) indica que el propósito del Manual de inspecciones es de: “describir los procedimientos y métodos para realizar el inventario de puentes y evaluar su deterioro.” (p.1)

“Se espera que los lineamientos sean utilizados como referencia para la inspección detallada, diseño detallado y trabajos de reparación/ rehabilitación/ y refuerzo, y para mejoras en el mantenimiento de puentes por los ingenieros de puentes de Costa Rica.” (Lineamientos, 2007, p.1).

También como parte de la colaboración por parte de JICA, se crea el Sistema de Administración Estructural de Puentes (SAEP). JICA (2007) menciona lo siguiente: “El Sistema de Administración Estructural de Puentes (SAEP) se estableció como una herramienta de apoyo para tener un criterio técnico al implementar las inspecciones, la evaluación, y el análisis y mantenimiento de los componentes estructurales del puente.” (p.8). Asimismo, se detallan las

funciones del software en las que se tiene el registro y renovación de datos, administración de datos, recuperación y salida del inventario de puentes.

En el año 2010 surge el programa eBridge del TEC, el cual es un programa de investigación de puentes de Costa Rica.

“El proyecto e-Bridge: “Predicción remota de fallas en puentes”, surge como un primer proyecto nacional y en este momento cuenta con el aporte económico del TEC y del Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), además de soporte en el suministro de información por parte del MOPT y el Consejo Nacional de Vialidad. El objetivo de este proyecto es generar capacidad de predicción de fallas en puentes. (CONAVI).” (Ortiz, 2012, p.10).

Ortiz (2012) señala que el proyecto eBridge busca tener un sistema confiable con el cual se pueda determinar la vida útil de un puente. Añade que con ello se podrá trazar un plan de mantenimiento, rehabilitación y reemplazo de las estructuras de puentes previo a que estas colapsen.

“Uno de los mayores problemas considerados es la falta de capacitación de los profesionales en ingeniería sobre el mantenimiento de las estructuras de puentes y su administración, unido al sistema burocrático. costarricense que hace difícil la toma de decisiones de carácter técnico.”(Ortiz, 2012, p.11)

En el año 2013 de acuerdo con el Tecnológico (2013) se firma un contrato entre el Tecnológico y el CONAVI para implementar el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP). De esta forma, se puede desarrollar un inventario de los puentes del país. El Tecnológico (2013) detalla las actividades por desarrollar, en el que se tienen inspecciones de inventario y visual de daños, inspecciones de

emergencia, inspecciones detalladas, pruebas de carga y monitoreo y capacitación.

Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018) presenta un análisis comparativo sobre distintos sistemas de monitoreo de puentes. En el mismo, se pudieron determinar los procesos y los actores principales dentro de un sistema de monitoreo de puentes. Los cuales se ilustran en las Figuras 4. y 5.

Procesos	Actores	Motivación
Administración de Información Técnica	Ingeniero	-Administrar información de puentes.
	Ciudadano	-Interesado en información básica del puente (ubicación, año de construcción, nombre, capacidad, altura, etc.).
	Profesores y Estudiantes	
	Encargados de Puentes	-Interesados en información básica del puente, su estado, planes de intervención, historial de mantenimiento.
Modelo de Fiabilidad	Ingeniero	-Obtener el índice de fiabilidad de los puentes.
Inspección	Ingeniero	-Obtener información sobre el estado de los puentes.
	Encargados de Puentes	
Inteligencia de Negocios	Ingeniero	-Obtener información básica y del estado de los puentes mediante un sitio web.
	Ministros y Autoridades	-Visualizar información gráficamente. -Toma de decisiones más rápida y acertada.
Red de Comunicación	Ingeniero	-Obtener información del comportamiento de los puentes.
Integración de Información	Ingeniero	-Obtener información de puentes mediante un flujo de trabajo científico, el cual integra diferentes aplicaciones.
	Encargados de Puentes	
	Ministros y Autoridades	
Sistema de Información Geográfica	Ingeniero	-Administrar el geo portal, riesgos de la infraestructura y mapas de mantenimiento de rutas.
	Ciudadano	-Ubicación de los puentes.
	Profesores y Estudiantes	
	Encargados de Puentes	-Riesgos de infraestructura y mapas de mantenimiento.
Priorización	Ingeniero	-Establecer prioridades de mantenimiento. -Programación de intervenciones.
	Encargados de Puentes	-Establecer y evaluar prioridades de inversión.
	Ministros y Autoridades	-Establecer prioridades de inversión.
	Encargados de Mantenimiento	-Verificar las actividades de mantenimiento a realizar.
Gestión de Costos	Ingeniero	-Cuantificar y evaluar costos de mantenimiento, inspección y reparación de puentes.
	Encargados de Puentes	
	Ministros y Autoridades	
Monitoreo de Estructuras	Ingeniero	-Estadísticas descriptivas, alarmas y eventos. -Analizar resultados obtenidos del monitoreo de puentes.
	Encargados de Puentes	-Alarmas y eventos por segmentos de control. -Reportes específicos.
	Encargados de Mantenimiento	-Consultas por categorías de fallas.

67

Figura 4. Procesos de un Sistema de Monitoreo de Puentes.

Fuente: Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018)

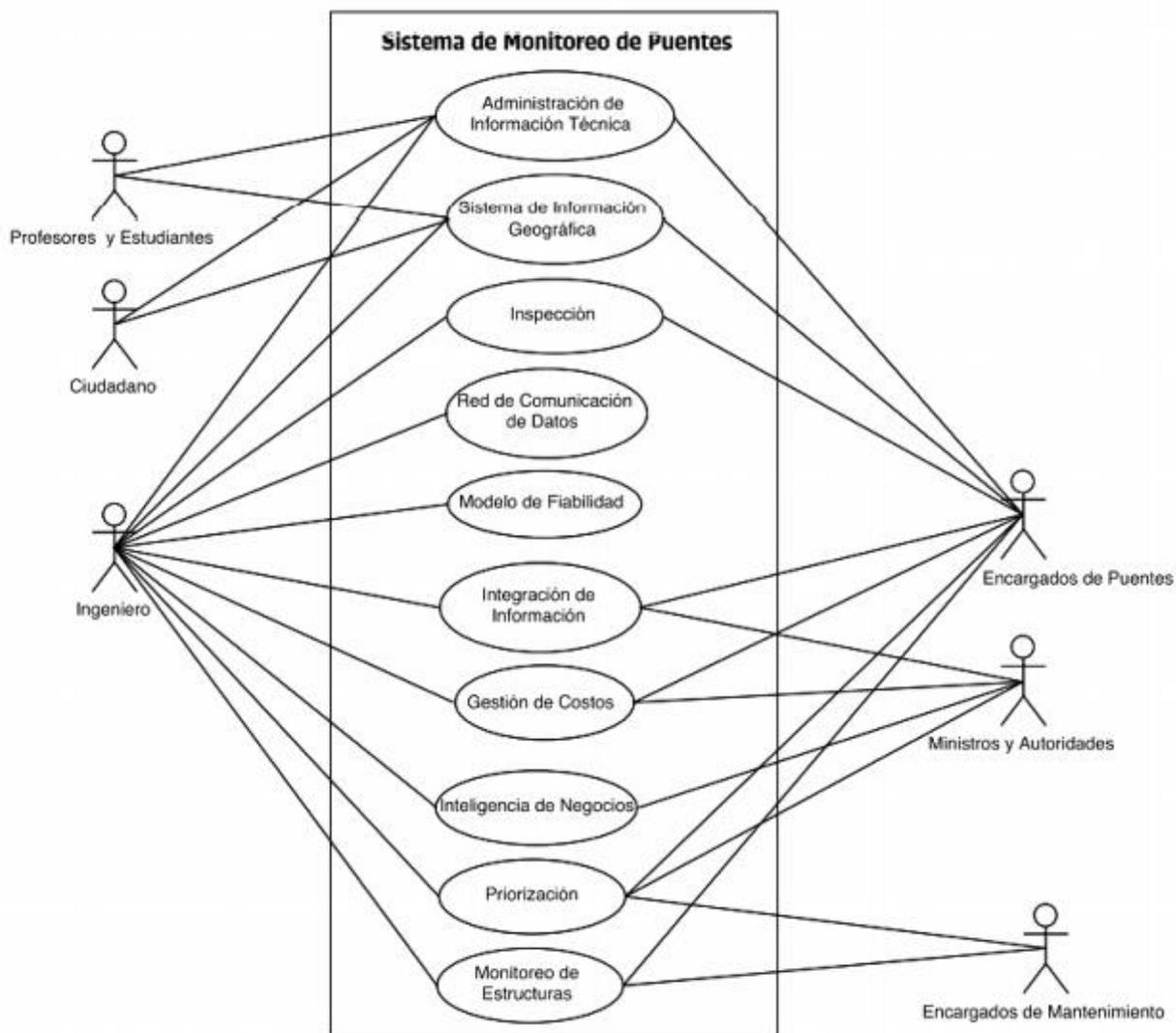


Figura 5. Actores principales en los procesos de un sistema de Monitoreo de Puentes.
Fuente: Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018)

Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018) concluyen de su análisis la existencia de procesos poco comunes dentro de los sistemas de monitoreo, entre los que destacan la inteligencia de negocios y las aplicaciones móviles. También mencionan lo siguiente: “Los procesos y requerimientos identificados en este trabajo van a ser analizados y priorizados para el diseño del prototipo de sistema de monitoreo considerado en el proyecto e-Bridge 3”. (p.71).

Propiamente con la gestión de puentes el Lanamme realizó en el año 2018 una auditoría técnica referente al tema. Lanamme (2018)

menciona como objetivo: “Analizar la evolución y el estado de la gestión de puentes dentro del marco general de la gestión de activos viales de la Red Vial Nacional de Costa Rica”. (p.7)

Lanamme (2018) en sus conclusiones indica áreas en las que se debe mejorar en la gestión. A continuación, se destacan algunas de ellas:

- Se debe mejorar en la organización, procesos y herramientas de planificación.
- La gestión de puentes en el país se encuentra en etapa de reconocimiento, siendo la etapa 2 de 5, la cual indica que debe existir una gestión de activos viales.

- No hay una coordinación clara en la gestión a lo interno del CONAVI.
- En el plan quinquenal vigente (plan 2018-2022) no se presentan labores de mantenimiento rutinario con base en el estado de los puentes.

Entre las recomendaciones dadas se tiene que:

- Es necesario establecer una estrategia para la implementación de la gestión de activos viales.
- Se debe mejorar en la comunicación interna.
- Seguir recomendaciones de la AASHTO y JICA en cuanto a la gestión de activos viales.

En el año 2019 se da la entrega del reporte del inventario nacional de puentes, producto del contrato TEC-CONAVI como lo indica Jiménez (2019). Se señala la inspección de más de 1600 puentes de la red vial nacional por parte del PEEP.

Algunas de las recomendaciones que se brindan, incluyen acciones relacionadas con la actualización de bases de datos, mayor coordinación institucional, mantenimiento constante y tomar en cuenta el entorno en el que se encuentra el puente. La necesidad de un mayor presupuesto, el reforzamiento de la legislación y la capacitación adecuada son también expuestas como tareas pendientes de mejorar para conseguir solventar la problemática. (Jiménez, 2019). En la Figura 6. se muestra el estado general de los puentes.

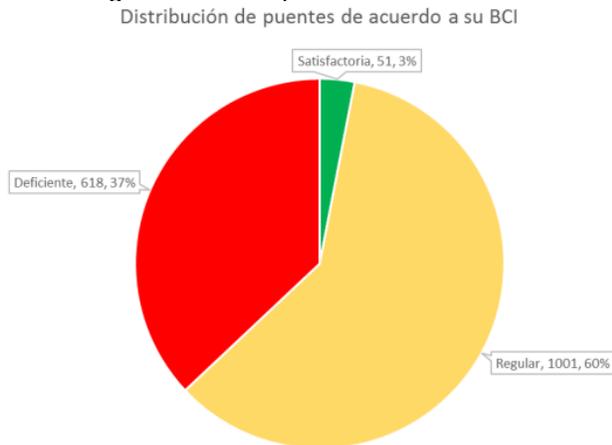


Figura 6. Estado de los puentes de la Red Vial Nacional
Fuente: Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes.

Producto de los datos suministrados por el PEEP, Winiker (2019) resume los datos más importantes del inventario nacional de puentes, los cuales se presentan a continuación:

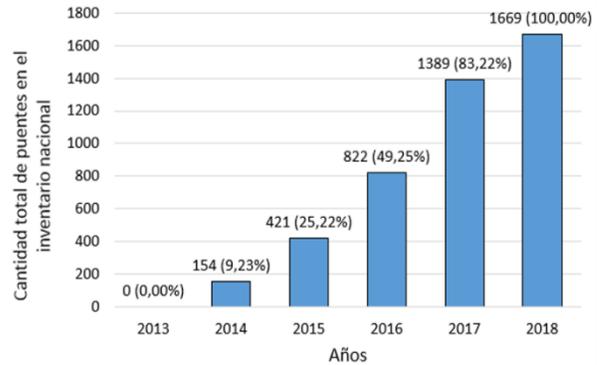


Figura 7. Construcción del inventario nacional de puentes.

Fuente: Winiker (2019)

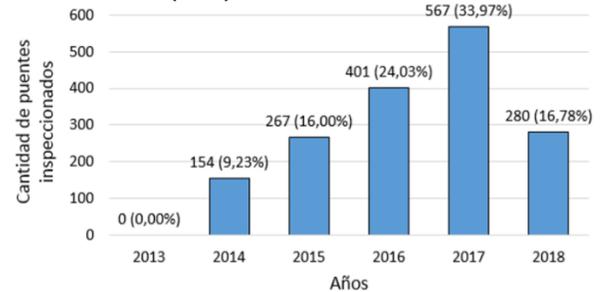


Figura 8. Cantidad total de puentes que se inspeccionaron por año.

Fuente: Winiker (2019)

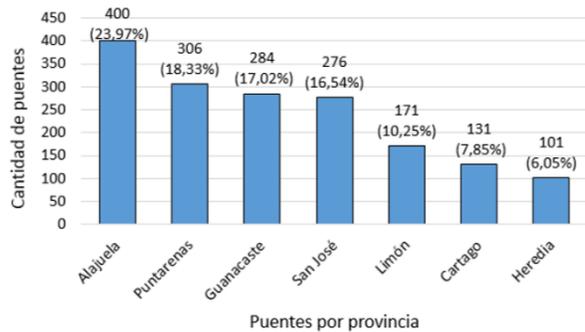


Figura 9. Cantidad total de puentes por provincia.

Fuente: Winiker (2019)

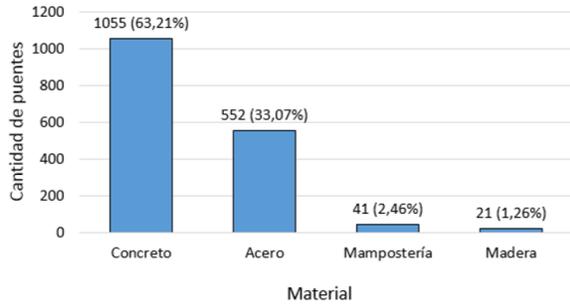


Figura 10. Material de los puentes en el inventario.
Fuente: Winiker (2019)

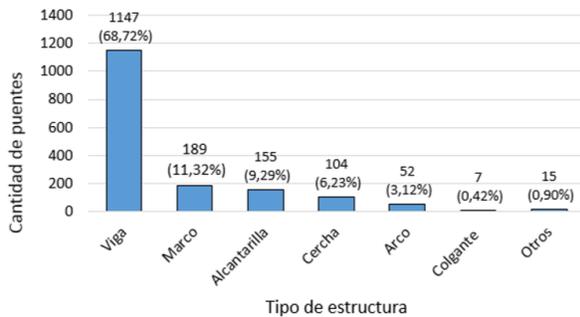


Figura 11. Puentes según su estructura.
Fuente: Winiker (2019)

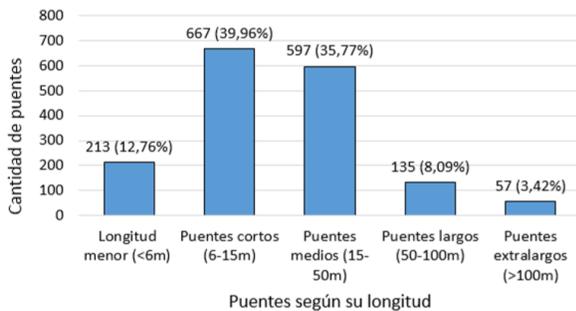


Figura 12. Puentes según su longitud.
Fuente: Winiker (2019)

“Se recomienda que el país adopte un programa de conservación de puentes. A pesar de que esto implica un costo constante para llevar a cabo las actividades de mantenimiento, el costo anual a lo largo de la vida útil del puente se disminuye, debido a que se aumenta la vida de servicio y las intervenciones son menos complejas.” (Winiker, 2019, p.44)

Asimismo, Winiker (2019) presenta un Manual Mantenimiento de Puentes. Entre lo más destacado del proyecto se tiene que se logró determinar cuáles son los daños más comunes que se encuentran del inventario nacional de puentes. Asimismo, se realizó una propuesta de actividades de mantenimiento que se le pueden dar a los 16 daños más comunes encontrados. De esta forma, complementa a los Lineamientos para mantenimiento de Puentes publicados por el MOPT en el 2007. A su vez, se determinó que la mayor cantidad de daños detectados se deben a malas prácticas de mantenimiento.

Metodología

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes y la elaboración de un diagnóstico de la gestión del CONAVI en la materia. De esta forma, se pretende que el Manual generado sea un insumo para que el CONAVI pueda mejorar su gestión. Por su parte, el diagnóstico servirá para detectar las fortalezas, debilidades y aspectos en los que se deben de concentrar los esfuerzos.

Primeramente, se procedió con una etapa de investigación extensa en dos ejes principales. Inicialmente, se indagó en el mantenimiento de puentes en Costa Rica. De esta forma se pudo tener un panorama claro de lo que se ha desarrollado en el país. Seguidamente, se exploró el tema desde lo que la literatura dicta y lo que otros entes han desarrollado. De acuerdo con Zorrilla (1993) citado por Grajales (2000) este tipo de investigación es de tipo documental. El mismo dice que: "La investigación documental es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.)."

En el área de mantenimiento de puentes en Costa Rica se logró obtener información valiosa que permitió tener un panorama claro de la situación del país. Del documento desarrollado por JICA: "El estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica" evidencia los primeros esfuerzos desarrollados para mejorar la gestión de mantenimiento de puentes. De este estudio se desprenden dos documentos: "Manual de Inspección de Puentes" y "Lineamiento para mantenimiento de Puentes" De estos se tuvo conocimiento de cómo debe ser la práctica en la inspección de puentes y las directrices en relación con el mantenimiento de los puentes.

Se tiene también como relevante el documento "Análisis a nivel estratégico de la

situación de la gestión de puentes de la red vial nacional." Este consiste en una auditoría realizada por el Lanamme a la gestión de mantenimiento de puentes del CONAVI. De esta se pudo extraer información de la gestión de los últimos años. También sirvió de insumo para el análisis de resultados ya que la misma se basa en la teoría en la cual se sustenta el Manual generado en el presente proyecto.

En el eje de información de lo que otros entes han desarrollado figura lo que estipula la FHWA y AASHTO. Se tiene a la FHWA como fuente principal para la redacción del Manual. Mientras que se tomó de la AASHTO la filosofía de gestión de activos viales.

La FHWA pone a disposición del público en general cursos en diversas áreas de la ingeniería, y es la gestión de mantenimiento de puentes una de ellas. Es por ello, que se tomaron de insumo tres de estos, los cuales son: "Bridge Management Fundamentals", "Establishing a Bridge Preservation Program" y "Communication Strategies for Bridge Preservation". Con este material base se dio a la tarea de la redacción del Manual. Se tomó en cuenta que no es posible aplicarlos por completo, debido a que no toda la información se aplica a la realidad nacional.

Se tomó como complemento las guías de la AASHTO "Transportation Asset Management Guide" del 2002 y 2011. De estas se extrajo la teoría de gestión de activos viales. La misma se detalla en el capítulo de "Filosofía" del manual.

Dada la naturaleza del proyecto se recalca que se investigó, en diversas fuentes para poder desarrollar un manual actualizado con las mejores prácticas y tener un panorama claro de la gestión en el país. Debido a la cantidad de fuentes consultadas es importante señalar que en esta sección no se menciona la totalidad de las mismas. Por lo cual una vez realizado el recuento de información de las distintas fuentes se realizó un cuadro de resumen que se encuentra en el Apéndice 3. En el mismo, se detalla cada

referencia consultada con su título, tema, año de publicación, autor y breve descripción de lo que se expone en cada una de ellas.

Una vez recopilada la información necesaria, se procedió con la redacción del Manual, encontrándose en el Apéndice 4. Asimismo, se redactó un documento que resume la teoría de la gestión de mantenimiento de puentes, el cual se encuentra en el Apéndice 1.

Para la realización del diagnóstico al CONAVI se procedió a realizar un cuadro de buenas prácticas (Cuadro 2.). En este, se resumen cuáles son las mejores prácticas que se deben seguir en la gestión de mantenimiento de puentes. Teniendo claro que existen más de estas, pero se buscó resumirlas, para un total de 38 buenas prácticas. Se decidió tener como base lo que la FHWA dicta. Se entiende que existen otras instituciones experimentadas, sin embargo, se tomó la decisión de tener una fuente de información principal. Lo anterior debido a las herramientas que tiene a disposición del público y al ser la fuente principal del Manual.

Posteriormente, se procedió con la investigación del tercer eje de información. Este consiste en el estado de cumplimiento de las buenas prácticas por parte del CONAVI. Para ello se utilizó una investigación descriptiva. Grajales (2000) cita lo siguiente sobre la investigación descriptiva: "trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Esta puede incluir los siguientes tipos de estudios: encuestas, casos, exploratorios, causales, de desarrollo, predictivos, de conjuntos, de correlación". De esta forma se contactó a Melisa Salas, encargada de la representación del CONAVI en materia de conservación de puentes ante el proyecto. La misma fue entrevistada y brindó información sobre el estado de cumplimiento. También se contactaron a los directores regionales, para determinar la forma de trabajo en el área de conservación de acuerdo con cada región. Sumado a los anteriores, se comunicó con Anthony Rivera, funcionario del CONAVI con amplio conocimiento del SAEP.

Se destaca que no fue posible la comunicación con los directores regionales y por ende la obtención de información con ellos a pesar de los intentos. En contraparte, se recolectó amplia información por parte de Melisa Salas y

Anthony Rivera producto de entrevistas realizadas a estos dos.

Una vez completada la información se verificó el cumplimiento de buenas prácticas las cuales se muestran en el Cuadro 3. Adicional a ello, se elaboró el Cuadro 4. que resume algunos datos relevantes por considerar en el Análisis de Resultados. En esta sección, se discutió de manera amplia los resultados obtenidos. Finalmente, se redactaron las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Resultados

El presente proyecto contiene una sección importante de investigación. De esta forma, se logra plantear un plan de gestión con una base sólida. El plan propuesto tiene como sustento principal información proveniente de la Federal

Highway Administration y de la AASHTO. En el Cuadro 2, se presenta un resumen de buenas prácticas en la gestión del mantenimiento de puentes.

Cuadro 2. Resumen de Buenas Prácticas en la Gestión de Mantenimiento de Puentes.		
Núm.	Detalle	Fuente
1	Establecer objetivos, metas y medidas de rendimiento. Asimismo, se debe tener claro las diferencias entre los mismos. Las metas buscan alcanzar logros a largo plazo, mientras que los objetivos son acciones a corto plazo para lograr resultados. Estas son delimitadas por tiempo y presupuesto. Se establece que los objetivos son medibles a diferencia de las metas que son un ideal. Las medidas de rendimiento son los pasos que verifican el cumplimiento de los objetivos propuestos.	Federal Highway Administration
2	Realizar un estudio de antecedentes previo a la fijación de objetivos, metas y medidas de rendimiento. Posterior a ello, se desarrollan y aplican los mismos. Finalmente, se estudia su efectividad y se vuelve al primer paso de estudio de antecedentes. De esta forma, se establece un ciclo continuo.	Federal Highway Administration
3	Las medidas de desempeño deben girar en torno a: Condición del puente, trabajo acumulado, protección a eventos extremos y minimización de costos.	Federal Highway Administration
4	Identificar los puentes que ingresan en el programa de preservación de puentes. Asimismo, se debe conocer el estado de los componentes de los puentes participantes.	Federal Highway Administration
5	Elaborar un listado de actividades de preservación por desarrollar, sean actividades cíclicas y obras de mantenimiento bajo condición. De preferencia, se debe tomar en cuenta actividades que pueden beneficiar al puente en varios frentes.	Federal Highway Administration
6	Tener un inventario de puentes actualizado que sea realizado por personal calificado. Se recomienda garantizar inspecciones periódicas de los puentes y que obtengan datos del estado que los elementos del puente.	Federal Highway Administration
7	Determinar niveles de importancia entre los componentes del puente. Entre lo que más debe destacar se tiene: losas, barandas, superestructura, apoyos, subestructura y alcantarillas. En un segundo nivel, se tienen juntas de expansión, accesos de aproximación, superficie de rodamiento y sistemas de protección.	Federal Highway Administration

8	Se recomienda que las evaluaciones sean a nivel de elemento. De esta forma se puede ser más objetivo en las obras de mantenimiento que se pueden realizar y programar de mejor forma las obras de mantenimiento cíclico.	Federal Highway Administration
9	Tener en la información del inventario el promedio de flujo diario de los vehículos, Geometría y localización.	Federal Highway Administration
10	Generación de datos que vayan en 4 ejes: inventario, estado de los elementos, actividades de preservación y el costo asociado a las actividades. Con ellas se realiza un mejor análisis y se procede a un plan de acción.	Federal Highway Administration
11	Determinar reglas que especifiquen cuándo realizar actividades de mantenimiento cíclico y bajo condición. Se pueden fijar por intervalos o por condición de los elementos según aplique.	Federal Highway Administration
12	Delimitar el nivel de acción del programa de mantenimiento preservativo. De acuerdo con el nivel de daño de los elementos de cada puente se clasifican en diferentes programas, sea mantenimiento preventivo, rehabilitación o reemplazo.	Federal Highway Administration
13	Contar con un sistema de gestión de puentes en el que toda la información recopilada se almacene en este. Esto ayudará a un mejor análisis, programación y toma de decisiones, especialmente en grandes redes de puentes. Entre las funciones primordiales esperadas se tiene el almacenamiento de la información de los puentes de la red, análisis costo beneficio y análisis de deterioro.	Federal Highway Administration
14	Consideración de las condiciones climatológicas en la programación según sea el caso. Hay momentos del año donde no se pueden realizar todas las actividades de mantenimiento.	Federal Highway Administration
15	Coordinar de la forma más ajustada las actividades de mantenimiento preventivo y rehabilitación, de forma que las compras y contrataciones para distintas actividades se hagan juntas.	Federal Highway Administration
16	Realizar presupuestos anuales, que se basen en necesidades o datos históricos. Para la reasignación de presupuesto se debe de tomar en cuenta los cambios en gastos, inflación y cambios en los costos constructivos.	Federal Highway Administration
17	Manejar niveles de priorización para las actividades de mantenimiento.	Federal Highway Administration
18	Hacer una distinción entre zonas rurales y urbanas.	Federal Highway Administration
19	La asignación de recursos depende de varios factores entre los que se tiene: decisiones a nivel gerencial, objetivos específicos, proyectos ya comprometidos, alcance de desempeño objetivo, tiempo para alcanzar objetivos planteados, fondos disponibles para alcanzar objetivos planteados, órdenes de carácter legislativo y estimaciones y cálculos realizados que respalden decisiones. Por lo que se debe manejar un nivel de prioridad de estos.	Federal Highway Administration
20	Tener distintos horizontes de planificación, uno para cada una de las actividades que se contemplan en el plan de gestión. Estos varían de acuerdo con las actividades que se desean programar.	Federal Highway Administration

21	Crear proyectos de trabajo en el que se mejoren corredores viales. Esta práctica es más rentable en costo y tiempo.	Federal Highway Administration
22	Priorizar las actividades que tengan un mayor beneficio frente al costo. Estos datos provienen de un análisis costo beneficio arrojado por un Sistema de Gestión de Puentes.	Federal Highway Administration
23	Manejar un ranking de prioridad para los proyectos establecidos en cada año. Esto se desprende de las prioridades y necesidades que el ente maneje. De esta forma, en el caso que se tenga que realizar labores de emergencia se sustituye el proyecto que tenga menor ranking de prioridad para el año en curso. Posterior a ello el proyecto desplazado se mueve al plan del siguiente año con una prioridad mayor a los ya establecidos.	Federal Highway Administration
24	Establecer un sistema de monitoreo del plan de gestión. Este debe ser específico en cuales actividades serán, como se van a realizar, con qué frecuencia y quién será el encargado. De esta forma, se puede medir y ajustar el plan para que se mejore y alcancen los objetivos propuestos.	Federal Highway Administration
25	Monitorear como mínimo: progreso del proyecto, gastos del proyecto, progreso y gastos del programa, finalización del trabajo, medidas de desempeño, análisis de brecha de objetivos y comunicación de resultados.	Federal Highway Administration
26	Establecer una frecuencia de monitoreo para cada una de las actividades planteadas por la organización. Como recomendación para las actividades mostradas en el punto anterior se tiene: progreso y gasto del proyecto, semanalmente; progreso y gasto del programa, mensualmente; medidas de rendimiento y análisis de brecha de objetivos anualmente. Finalmente, la comunicación de resultados por convenir por la agencia.	Federal Highway Administration
27	Asignar responsables para cada actividad de desempeño. Se recomienda que para un Gerente de Proyecto se encargue del progreso del proyecto, gastos de proyecto y finalización de trabajo. Por su parte un gerente de programa se encargará del progreso del programa, medidas de desempeño, análisis de brecha de objetivos y comunicación de resultados.	Federal Highway Administration
28	Realizar reuniones periódicas según cada proyecto lo requiera. De esta forma se da un seguimiento a los avances y se identifican problemas. Así, se reestructura el plan de trabajo y se realizan los ajustes necesarios para cumplir con lo planteado inicialmente.	Federal Highway Administration
29	Llevar un control detallado del proyecto en marcha. Es importante que el responsable conozca los objetivos y talento humano con sus respectivas responsabilidades.	Federal Highway Administration
30	Supervisar los proyectos desde el punto de vista de uso de recursos, progreso y plan de trabajo de manera conjunta. Se tiene como gran ayuda herramientas computacionales que permiten llevar el control cruzado.	Federal Highway Administration
31	Tener datos de valor planificado, valor ganado, costo real, variación de cronograma, variación de costos. Lo anterior para llevar un correcto control de costos y tiempo.	Federal Highway Administration
32	Manejar informes de finalización de las actividades de trabajo. De esta forma se logrará supervisar el trabajo realizado y se pueden tomar lecciones para implementar en otros proyectos.	Federal Highway Administration
33	Contar con un proceso en el que se evalúe la brecha existente entre los objetivos planteados y lo logrado por el plan. Se debe evaluar todas las prácticas de preservación de puentes que se realicen. Posterior a ello, investigar cuales son las mejores prácticas de preservación para mejorar	Federal Highway Administration

	o cambiar las existentes. Seguidamente, se debe identificar las brechas y colocarlas en orden de prioridad. Seguidamente, se debe planificar la manera de reducir las brechas de acuerdo con las prioridades y ejecutar lo estipulado. Finalmente se hace una revisión del plan de reducción de brechas y se repite el ciclo completo.	
34	Realizar informes en los que se muestren los resultados del Plan de Gestión de esta forma los jercas tienen conocimiento de los beneficios que se tienen con el programa.	Federal Highway Administration
35	Desarrollar un plan de acción a largo plazo. Este plan debe de contemplar distintos escenarios de esta forma se determina la mejor estrategia para administrar los activos con los recursos que se tienen a disposición.	Federal Highway Administration
36	Se deben dedicar fondos suficientes para soportar el programa de mantenimiento de puentes.	Federal Highway Administration
37	Debe existir un compromiso por parte de los altos jercas en la implementación de un plan de gestión de puentes siguiendo buenas prácticas.	Federal Highway Administration
38	Impregnar a toda la organización de la filosofía y su importancia de esta forma existe un interés y compromiso por parte del personal para el cumplimiento de lo planteado y buscar una mejora continua.	Federal Highway Administration

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Luego de realizar el estudio de buenas prácticas se procedió a llevar a cabo un análisis de las prácticas desarrolladas por el CONAVI en la gestión del mantenimiento de puentes. Asimismo, se hizo un análisis de estas comparándolas frente a las buenas prácticas que dictan la AASHTO y la

FHWA. En el Cuadro 3. se hace un resumen de las prácticas desarrolladas por el CONAVI referentes al tema de estudio y se muestra su estado de cumplimiento. Por su parte el Cuadro 4. se explican los 4 estados de cumplimiento

Cuadro 3. Cumplimiento de Buenas Prácticas del CONAVI		
Núm.	Detalle	Estado de Cumplimiento
1	No se cuenta con objetivos ni metas establecidas en materia de un plan de mantenimiento de puentes. En consecuencia, no hay medidas de desempeño para garantizar el cumplimiento de objetivos y metas. Con lo que se cuenta es con los objetivos propios del CONAVI, donde se establece la conservación de la red vial nacional como uno de sus objetivos.	No cumple
2	Se carece de un estudio previo para la fijación de metas y objetivos, esto será parte de las recomendaciones en el Manual. Sin embargo, se detalla que el trabajo realizado en los últimos años será de insumo, para la fijación de objetivos, metas y medidas de desempeño.	No cumple
3	No existen medidas de desempeño.	No cumple
4	Se tienen identificados todos los puentes que pueden ingresar al programa de conservación, estos aquellos pertenecientes a la red vial nacional. Asimismo, se conoce el estado de los elementos de los puentes, proveniente de los datos del levantamiento del inventario nacional, por parte del contrato TEC- CONAVI,	Cumple
5	No existe un listado como tal en las actividades de mantenimiento cíclico, ya que el único rubro que se tiene es la limpieza de puentes. Propiamente, en las actividades de mantenimiento rutinario y rehabilitación se muestran avances en un listado de actividades y posibles reparaciones. Ejemplo de lo anterior, Winiker (2018) elaboró un manual en el que se proponen procedimientos de mantenimiento, para los 16 daños más comunes de los puentes en el inventario nacional.	No cumple

6	Se cuenta con un inventario de puentes y alcantarillas actualizado. El mismo fue desarrollado por profesionales con el conocimiento necesario. El mismo estuvo a cargo del Tecnológico de Costa Rica, producto de un contrato con el CONAVI.	Cumple
7	Se tiene un nivel de prioridad entre los elementos que componen un puente. La forma de asignar las jerarquías y las prioridades se determina en el documento "Lineamiento para Mantenimiento de Puentes".	Cumple
8	Se tiene evaluación de los elementos de los puentes a nivel de elemento.	Cumple
9	No se tiene información del flujo diario de los vehículos en todos los puentes de la red vial nacional	No cumple
10	Se tienen datos en los 4 ejes mencionados. Primeramente, se tiene un inventario de los puentes por intervenir por el CONAVI. Adicional a ello, se conoce el estado de los elementos. También, se tiene información sobre actividades de mantenimiento como se menciona en el detalle 5 del presente cuadro sin embargo, no se encuentra completamente desarrollado. Finalmente, no se tiene un costo asociado a las actividades a desarrollar.	Cumple
11	No existen reglas establecidas para dar mantenimiento a los puentes.	No cumple
12	No hay reglas que determinen el nivel de acción del programa de mantenimiento.	No cumple
13	Existe un sistema de gestión de puentes llamado SAEP. El mismo fue desarrollado en 2007 por un grupo de expertos japoneses y funcionarios del MOPT en el marco colaborativo del gobierno japonés a través de JIICA. A lo largo de los años se han realizado mejoras al programa. El programa es capaz de almacenar datos del inventario de los puentes. Cabe destacar que el SAEP no es capaz de desarrollar las funciones mínimas.	Deficiente
14	Se desconoce si se consideran las condiciones climatológicas en la programación de las actividades en cada una de las zonas de conservación vial.	Desconocido
15	Las actividades se coordinan de manera trimestral.	Cumple
16	Se realizan presupuestos anuales donde se consideran todas las actividades que se tienen proyectadas por realizar.	Cumple
17	No se manejan niveles de priorización para las actividades de mantenimiento.	No cumple
18	Se hace una distinción entre las zonas rurales y urbanas. En este caso, el CONAVI se maneja por distintas regiones llamadas zonas de conservación.	Cumple
19	No existe un orden de prioridad propiamente establecido. En la práctica, algunos de los mencionados tienen más peso que otros, por lo que hay un orden jerárquico entre estos, mas no uno en concreto.	Deficiente
20	No se manejan distintos horizontes de planificación de acuerdo con cada actividad. Esto debido a que las actividades de mantenimiento y rehabilitación no tienen un análisis de planificación establecido	No cumple
21	No se mejoran corredores viales	No cumple
22	No se realiza un análisis costo beneficio.	No cumple
23	No existe un ranking de prioridad entre los proyectos que están dentro de un programa.	No cumple
24	No se tiene un plan de monitoreo continuo.	No cumple
25	No hay planes de monitoreo establecidos.	No cumple
26	No hay planes de monitoreo establecidos.	No cumple
27	No se trabaja bajo esta modalidad	No cumple
28	No se realizan reuniones periódicas para darle seguimiento a los programas o proyectos. Se pueden dar reuniones por parte de los encargados y en algunos casos se dan, mas no como una actividad fija y constante.	No cumple
29	En los proyectos de rehabilitación se lleva un control detallado de las actividades que se realizan. En conservación vial no se tiene un control estándar detallado.	Deficiente
30	Se desconoce si se trabaja bajo esta modalidad en cada una de las áreas de conservación vial.	Desconocido
31	No se cuenta con este tipo de datos en los programas de trabajo.	No cumple
32	Si se realizan informes finales de trabajo terminado. En el área de conservación vial no hay una plantilla establecida, mientras que en obras de rehabilitación si hay una plantilla destinada para este fin.	Deficiente

33	No se cuenta con un proceso para evaluar la brecha existente entre los objetivos y resultados. Esto debido a que no existen objetivos establecidos. De igual forma, no se realiza un análisis de mejora de los procesos.	No cumple
34	No se realizan informes de los resultados del Plan de Gestión. Las actividades de rehabilitación si se manejan de esta forma al ser más grandes, sin embargo, en pocas ocasiones llegan a manos de los altos jerarcas. Esto solo se da en casos de alta relevancia.	No cumple
35	Se ha desarrollado un plan a largo plazo llamado Plan Quinquenal. Este se realiza cada 5 años y se contemplan las actividades mantenimiento bajo condición y rehabilitación para el periodo mencionado.	Cumple
36	No se cuenta con un programa establecido dedicado a la conservación de puentes. Sin embargo, si se destinan fondos. Además, de acuerdo con el Lanamme (2018) los fondos dedicados por parte del CONAVI son insuficientes para el mantenimiento de puentes.	Deficiente
37	Se da un compromiso por parte de los ejecutivos al querer implementar un plan de gestión de puentes. Asimismo, se fortalece con la creación del Departamento de puentes.	Cumple
38	No hay un conocimiento de la filosofía en toda la organización. Tampoco se tiene un interés por parte de la totalidad del personal sobre la importancia de la implementación de un plan de gestión de puentes.	No cumple

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Cuadro 4. Detalles de Estado de Cumplimiento	
Estado de Cumplimiento	Detalle
Cumple	Se evidencia que en la gestión actual se desarrolla la buena práctica.
No cumple	Se evidencia que en la gestión actual no se desarrolla la buena práctica.
Deficiente	Se evidencia que en la gestión actual se desarrolla la buena práctica, mas no en su totalidad.
Desconocido	En el proceso de investigación no fue posible conocer el estado de cumplimiento de la buena práctica cuestión.

Como parte del diagnóstico a la gestión del CONAVI es necesario conocer más sobre el trabajo desempeñado en los últimos años. En el Cuadro 5. se mencionan algunos otros aspectos importantes en relación con la gestión realizada, estos vienen organizados en distintos temas.

Cuadro 5. Aspectos Adicionales a Valorar en Diagnóstico		
Núm.	Detalle	
1	En la actualidad, la administración de la herramienta SAEP es administrada en conjunto por la Gerencia de Contrataciones y la Gerencia de Conservación. Por su parte, la normativa establece que la administración de este debe estar en manos de la Gerencia de Conservación.	Salas, M.
2	El SAEP no realiza un análisis de priorización de puentes de acuerdo con lo que el CONAVI ha estipulado.	Rivera, A.
3	El SAEP no realiza un análisis costo beneficio que determine cuándo realizar obras de mantenimiento, rehabilitación y construcción.	Rivera, A.
4	El SAEP presenta deficiencias para poder almacenar la información de las alcantarillas de la Red Vial Nacional.	Rivera, A.
5	No se cuenta con información de los costos aproximados de mantenimiento y rehabilitación asociados a los posibles daños que se pueden encontrar en un puente.	Salas, M.
6	No se cuenta con información completa sobre las posibles formas de dar mantenimiento bajo condición y rehabilitación para los distintos daños que se puedan encontrar en un puente.	Salas, M.
7	Solo se cuenta con una actividad en el rubro de mantenimiento preventivo, siendo esta la "Limpieza de Puentes"	Salas, M.
8	La Ley 7798 dio origen a la creación del CONAVI como el ente encargado de la conservación de la red vial nacional.	Ley 7798
9	Directriz por parte del ministro del MOPT en el que se encarga al CONAVI del mantenimiento de puentes.	LanammeUCR
10	Los funcionarios del CONAVI no reciben capacitaciones periódicas en el área. Además, no todos tienen el conocimiento sobre la gestión de activos viales.	Salas, M.
11	Las actividades de rehabilitación tienen un control mayor en comparación a las actividades de conservación.	Salas, M.
12	No existe un claro compromiso por parte de los funcionarios en torno a la implementación de un plan de gestión de activos viales.	LanammeUCR

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Finalmente, se procedió con la redacción de un Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes al tomar en cuenta las buenas prácticas de la Federal Highway Administration y AASHTO. El mismo se puede encontrar en la sección de Apéndices del presente documento.

Análisis de los resultados

Se considera importante comenzar señalando que no existe un plan de gestión de mantenimiento de puentes, pero si existe una gestión en el mantenimiento por parte del CONAVI, sin embargo, no se puede catalogar como un plan a pesar de que tenga componentes que así lo señalen. Esto se debe a que no existe una estructura definida con los componentes necesarios.

En el Cuadro 2. se detallan una serie de buenas prácticas que se deben seguir en un plan de gestión de mantenimiento de puentes. Por su parte el Cuadro 3. detalla el cumplimiento del CONAVI en cada una de las buenas prácticas del Cuadro 2. Las mismas se muestran con un código de colores; siendo verde un indicador de cumplimiento, rojo incumplimiento y amarillo como deficiente. A primera vista se puede apreciar que existen deficiencias en la gestión, por lo que a continuación se procederá a su análisis junto con los hechos mencionados en el Marco Teórico.

La gran mayoría de estas inconsistencias radican en materia administrativa. Se señala que estas deficiencias se encuentran tanto por parte del MOPT-CONAVI como a lo interno del CONAVI.

Como se mencionó en el año 1998 la Ley 7798 dio origen al CONAVI y le facultó como el ente encargado de la red vial nacional, sin embargo, no se dio una implementación de un plan para el mantenimiento de los puentes inmediato.

Además, en la sección de Marco Teórico se destaca que en el año 2009 se da un convenio con el gobierno de Japón para aportar en el desarrollo del mantenimiento de puentes. El estudio se llevó con expertos japoneses y funcionarios del MOPT. Comenzando con ello, a criterio del escritor la representación nacional debía ser aportada por el CONAVI, puesto que a la larga serían los encargados del mantenimiento de puentes de acuerdo con la legislación.

Se desprende de esta colaboración la redacción de dos documentos, “Manual de Inspección de Puentes” y “Lineamiento para Mantenimiento de Puentes”. Ambos documentos

con representación de funcionarios del MOPT. Se destaca también la creación de la herramienta SAEP cuya administración queda en manos del MOPT. Nuevamente, se recalca como importante que el CONAVI tuviese participación en la redacción de los documentos. Asimismo, el manejo de la herramienta como funciones del CONAVI. Todo esto debido a que el ente encargado para este tipo de labores es el CONAVI.

Es importante indicar que no hay un seguimiento continuo por parte del CONAVI y el MOPT en materia de mantenimiento de puentes. Si bien un análisis del MOPT no es parte del alcance de este proyecto se justifica su mención dada la relación que tiene con el CONAVI en el mantenimiento de puentes y como ha interferido en las acciones del CONAVI.

En el año 2016 se dio una orden para que el CONAVI fuera el encargado del mantenimiento de puentes. Con este dato se evidencia que en el lapso de 16 años no se tenía claro quién era el encargado de esto, a pesar de que la Ley 7798 le otorgaba esta función al CONAVI. Se destaca también que la Contraloría General de la República (CGR) intervino para dar una interpretación a la legislación y definir responsables.

En los párrafos anteriores, se evidencia que no existió un claro liderazgo por parte del CONAVI en la gestión de puentes. Además de ello, la intervención y acción del MOPT en el campo de acción que debería ser propio del CONAVI. La intención de este escritor no es atacar las entidades, sino mostrar la importancia de ejercer un fuerte liderazgo en la toma de acciones dada la responsabilidad que tiene ante la Ley.

A pesar de que no se vislumbrase un claro liderazgo, en el año 2013 se da la contratación del TEC para que sea el responsable de levantar un inventario nacional de puentes. Como se observa, esto se da 3 años antes de la directriz girada en el 2016. Esto a su vez muestra nuevamente que no

existía un rumbo claro por parte del MOPT y el CONAVI. Por lo que es a partir del año 2016 que se tiene una toma de funciones clara y establecida por parte del CONAVI.

Tal y como se establece en el Manual de Gestión de Puentes en el Apéndice 4. lo primero que se debe hacer para crear un plan de gestión es dar un rumbo a la organización para saber que se desea hacer y cuál es el norte de trabajo. En contra parte el CONAVI inicia su gestión con el levantamiento de un inventario de puentes. El inventario detallado de los puentes es de suma importancia, pero no forma parte de los primeros pasos que se deben dar en miras a un plan de gestión.

Este rumbo y alcance debe quedar claramente establecido para que sea de conocimiento de todos los que forman parte de la institución. Además, es fundamental que se dé en este orden correcto, máxime cuando puede haber cambios en las altas jerarquías. Este detalle es de suma relevancia dada la naturaleza del CONAVI. Con cada cambio de gobierno pueden llegar cambios en las líneas de pensamiento por lo que es importante seguir un mismo curso de acción para poder ver resultados satisfactorios.

Parte de este direccionamiento debe partir de un análisis y estudio previo para poder determinar aspectos importantes para el Plan que se desea implementar. En este caso el CONAVI de cierta forma ya se ha adentrado en el mantenimiento de puentes. Es por esta razón que se debe realizar un análisis de cuál es la labor que se ha desempeñado en los últimos años. En este caso, se considera que lo más apropiado es que se debería tomar en cuenta lo que se ha desarrollado a partir del año 2016, año en que se tomó de manera más concreta el mantenimiento de puentes.

En este estudio se deben tomar en cuenta la intervención de las gerencias en la materia. Analizar cuáles son las funciones de cada una y ver el cumplimiento de las funciones. Es valioso que se pueda tener representación de los departamentos involucrados en la gestión. Además de tomar en cuenta observaciones realizadas por otros entes entre los que destacan JIICA, TEC y LANAMME. Estos han sido actores que han aportado en el desarrollo de la gestión de mantenimiento de puentes.

Parte fundamental para el direccionamiento es el planteamiento de objetivos, metas y medidas de desempeño. Que como se

evidenció, hay una carencia de los mismos, propiamente en la gestión. Las metas y objetivos deben ir acorde con las prioridades principales que tienen los puentes de la red vial nacional.

La ausencia de un rumbo claro es la mayor deficiencia ya que es la base para todo plan. Esto genera que no haya una estructura clara y definida que soporte todas las actividades que se pretenden. Asimismo, el CONAVI no ha pasado por las primeras etapas para conformar un plan sólido y sin bases sólidas es imposible que se pueda sostener.

La gestión de activos viales basa sus decisiones en un marco de información de calidad. Propiamente en el área de la información se detectan algunas carencias que también se analizarán. Aunque hay avances en la materia.

El mayor avance se da en el levantamiento del inventario de puentes en el que se detalla el estado de los elementos, siendo esta una excelente práctica. De esta forma se pueden tomar decisiones más acertadas. Se considera como bueno el avance en este sentido ya que se cuenta con información de todos los puentes y esto a nivel de elementos, con ello las decisiones pueden ser más acertadas y se prioriza de una manera más específica las intervenciones, aunque aún hay espacios de mejora.

Señalar también que no existe una base de datos donde se detalle las distintas formas de mantenimiento de acuerdo con los distintos tipos de daños. Estos datos son de importancia ya que se tiene información sobre cuáles son los mejores procedimientos para cada daño, además de tener variedad de actividades por escoger lo cual depende de los casos que se presenten.

Winiker (2018) realizó un aporte al CONAVI para que justamente se tenga información al respecto. Es de esta forma que se tienen procedimientos para dar mantenimiento a los daños más comunes, pero existe un gran faltante de datos de los cuales no se tiene información de cómo dar un adecuado mantenimiento. En estos casos las decisiones son tomadas por los ingenieros lo cual no es lo mejor. No se pone en duda el criterio ingenieril, sino que no es lo más apropiado en la gestión de activos viales, sin embargo, si es vital que el criterio de los expertos esté siempre presente en cada parte del proceso. Ejemplo de lo anterior es la escogencia de los procedimientos disponibles de acuerdo con las condiciones que se puedan presentar.

Otro de los ejes señalados en la información son los costos. El CONAVI no cuenta con datos de los costos aproximados para dar tratamiento a los daños que se presenten. Por lo que tener una adecuada planificación se dificulta, debido a que no se tiene una seguridad en si los fondos asignados para las intervenciones es el correcto.

Como parte del análisis de la información se tiene como un problema crítico la escogencia de las intervenciones. Actualmente, no se siguen procesos de análisis costo-beneficio. Si bien se realizan algunas obras de mantenimiento no hay certeza de que estas sean las mejores decisiones, por lo que los recursos no se optimizan de la mejor forma. Puede que se le dé mantenimiento a elementos que hayan tenido que estar en un programa de reconstrucción. Otro caso puede ser que a la larga los costos sean mayores para la administración. También, puede suceder que existiese un mayor beneficio en la intervención de otros puentes. Como se observa existe una variedad de escenarios que se pueden presentar por no realizar un análisis costo beneficio.

Toda esta información debe estar almacenada en software que a la vez será el responsable de analizar los datos. Como se mencionó el CONAVI cuenta con el SAEP. Sin embargo, el SAEP solo almacena los datos del inventario nacional de puentes. El mismo cuenta con un módulo para manejar costos, pero no se encuentra en funcionamiento.

Uno de los fundamentales de la gestión de puentes es la existencia del mantenimiento preventivo, lo cual busca mantener en buenas condiciones por mayor tiempo los elementos de los puentes, para dar un beneficio económico a lo largo del tiempo. En este rubro el CONAVI solamente desarrolla la limpieza de puentes sin que existan más opciones de actividades. Asimismo, queda a escogencia de los directores regionales si se realizan este tipo de actividades de conservación. Se evidencia que no hay un plan definido para el mantenimiento preventivo y se desconoce si se aplica en todas las regiones.

Finalmente, se puede observar que la gestión que se ha venido desarrollando en los últimos años son una suma de esfuerzos aislados que no están integrados en un mismo modelo. El mismo caso sucede con los datos, los cuales deben estar centralizados y definidos.

Se deben implementar a su vez sistemas de monitoreo de esta forma se logra tener un

diagnóstico siempre presente. Es de esta forma como se verifica si se cumple con las actividades propuestas y se logran detectar falencias. Es necesario entender que las actividades de monitoreo no se deben ver como una rendición de cuentas con las que se debe cumplir, sino un mecanismo que busca una mejora continua. Como se muestra en el Manual de Mantenimiento de Puentes hay muchas áreas que se pueden abarcar e incluso se recomiendan monitorear áreas en específico. Debido a que el CONAVI ya ha incursionado en el campo se ve el valor que se monitoree áreas donde se detecten la mayor cantidad de falencias. Estas deben verse reflejadas en el estudio preliminar mencionado anteriormente.

De acuerdo con Salas (2020) el área de rehabilitación se encuentra más desarrollada en comparación al área de conservación en temas de monitoreo, reportes, planificación, entre otros. Por lo que es necesario que ambas áreas tengan un mismo nivel de desarrollo. También es importante que no se deben manejar de forma separada. La diferencia entre ellas es el momento en el que intervienen y las actividades que desarrollan, fuera de ello son similares. Es por ello, que se considera importante concentrar esfuerzos en que el área de conservación para llevarlo como mínimo a un mismo nivel de ejecución que rehabilitación. Lo anterior en áreas como comunicación, formatos, informes, monitoreo, reportes y procedimientos.

El manual desarrollado manifiesta que la implementación de un plan de gestión requiere tiempo y es un proceso evolutivo en busca de una mejora continua. Debido a lo anterior se deben priorizar los pasos por seguir y no intentar abarcar todas las áreas. Se debe tener claro que es pertinente priorizar los avances en torno a la administración y no en la información. De esta forma, no se saltan los primeros pasos fundamentales y se garantiza una mejor gestión.

Posterior a ello, se puede incursionar en el área de recolección de información. A su vez, es necesario que la información centralizada. Aclarando, que no se busca la exclusividad de la información, sino que exista facilidad de buscarla y una guía clara y definida.

Uno de los esfuerzos que se realizan en la actualidad es la conformación de la unidad de puentes. Al analizar la gestión de los últimos años y el análisis desarrollado se propone que este departamento esté ligado a la gerencia de conservación vial. Además, se propone que esta

dependencia sea la encargada de desarrollar el modelo de gestión de mantenimiento de puentes.

Otro de los esfuerzos de la administración es el querer desarrollar una gestión de mantenimiento de puentes, debido a ello surge este proyecto y el realizado por Winiker. También, se han venido realizando esfuerzos a lo interno para poder lograrlo.

Propiamente en el campo de la ejecución se deben trazar programas y proyectos basados en información de calidad tomándose en cuenta en el estado de los puentes para priorizar las intervenciones más críticas. Es preocupante que un 37% de los puentes se encuentren en condiciones defectuosas. Por lo que deben ser la prioridad. Se debe tomar en cuenta que el llevar estos puentes a buenas condiciones requiere de tiempo y recursos. Si las obras en estos puentes se llegasen a posponer el porcentaje de puentes en categoría deficiente podría aumentar y a su vez aumentaría los costos.

A pesar de que los puentes en estado deficiente se consideren prioritarios no se debe dejar de lado las obras de rehabilitación y mantenimiento rutinario. Lo anterior debido a un tema de beneficios en el futuro tal como lo indica la teoría. Implica un menor costo realizar obras de rehabilitación frente a obras de construcción en gran parte de los casos. Asimismo, se considera que el mantenimiento rutinario representa un costo inmediato, pero un ahorro en el tiempo. Sin embargo, en la actualidad solo se tiene un rubro para el mantenimiento de rutinario de puentes, el cual es de limpieza de. Se considera necesario aumentar el número de actividades que se puedan realizar en esta categoría.

En el apéndice 2 se tiene una propuesta de acción para tratar los puentes. En la actualidad, el CONAVI realiza la valoración de los elementos de estos en una escala de 1 a 5. Esta escala se puede adecuó de acuerdo con las presentadas en el Manual, lo cual arroja lo propuesto. Se debe de tomar en cuenta.

En el Anexo 2. se encuentra una propuesta realizada por el PEEP en el 2019 para la valoración y costeo de obras de mantenimiento de puentes. Como se observa, los parámetros de valoración son los mismos que los presentados en el Apéndice 2, sin embargo, hay variación en la manera de dar tratamiento a los puentes. El PEEP propone que se dé una valoración global a cada uno de ellos de acuerdo con las puntuaciones que cada elemento tuvo. Además de ello, se propone

un método de valoración de costos de acuerdo con la calificación obtenida.

Se considera que el método de valoración realizado por el PEEP puede ser adoptado mientras el CONAVI realiza los ajustes necesarios en su organización y trabaja en la creación de bases de datos, que como se mencionó, estas toman tiempo en conformarse. Asimismo, es necesario iniciar con la implementación de un Plan de Gestión basado en las buenas prácticas. Se recalca que es necesario que en su momento se trabaje con el mantenimiento a nivel de elemento. Solamente las actividades que forman parte de mantenimiento rutinario sean a nivel de puente en el caso que así aplique.

Conclusiones

- La gestión del mantenimiento de puentes en Costa Rica ha tenido grandes aportes, mas no se han tomado suficientes acciones concretas para lograr una buena gestión.
- Se determinó una gestión deficiente por parte del CONAVI en la gestión de mantenimiento de puentes. En el que de de 38 buenas prácticas, 21 no se cumplían.
- Se logró evidenciar que el mayor problema del CONAVI radica en el no establecimiento del rumbo de la organización.
- El Manual de Gestión de Puentes es tan solo una guía de pasos, pero el éxito radica en que el usuario sea capaz de desarrollar los mecanismos planteados y crear las herramientas que se proponen.

Recomendaciones

- Se recomienda al CONAVI la adopción de un modelo de gestión de mantenimiento de puentes donde no se trabaje bajo el modelo “lo malo primero”. Se entiende que esto requiere una inversión de dinero alta, pero la teoría indica que los beneficios a largo plazo serán mayores.
- Se recomienda al CONAVI realizar un estudio de antecedentes y diagnóstico interno para tomar en cuenta todos los departamentos que intervienen en la gestión de mantenimiento. De esta forma se pueden encontrar fallencias a lo interno de la organización.
- Se recomienda al CONAVI brindar capacitaciones a sus funcionarios sobre la gestión de activos viales y las buenas prácticas en la gestión de mantenimiento de puentes.
- Se recomienda al CONAVI concentrar sus esfuerzos en el direccionamiento de la organización en el que se defina un alcance, objetivos, metas y medidas de desempeño.
- Se recomienda al CONAVI la mejora del SAEP o la adopción de un sistema de gestión de puentes que sea capaz de desarrollar funcionamientos básicos de un sistema de gestión.
- Se recomienda al CONAVI la ampliación de actividades de mantenimiento rutinario además de la limpieza de puentes.

Referencias

AASHTO. (2011). *Transportation Asset Management Guide (Vol. 2): A Focus on Implementation*. Washington, D.C.: AASHTO

AASHTO. (2002). *Transportation Asset Management Guide*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Project 20-24(11)

Asamblea Legislativa. (1998). *Ley 7798, Creación del Consejo Nacional de Vialidad*.

Castillo Barahona, R., & Murillo Madrigal, J. A. (Marzo de 2014). El sistema informático para la administración de estructuras de puentes de Costa Rica (SAEP): ¿Vamos en la dirección correcta?. *Boletín Técnico*. Volumen 5 No. 52, Unidad de Puentes, PITRA, LanammeUCR. Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/871/52.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Bridge Management Fundamentals. Online course.

Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Communication Strategies for Bridge Preservation. Online course.

Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Establishing a Bridge Preservation Program. Online course.

Federal Highway Administration. (2018). *Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility*. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/guide.pdf>

Fernández, Victor (22 de octubre de 2009) Cinco personas fallecen al caer puente entre Turrubares y Orotina. *La Nación*. Recuperado de <https://www.nacion.com/sucesos/cinco-personas-fallecen-al-caer-puente-entre-turrubares-y-orotina/T6E5PDJJSZEZ5OFRBWFBYQ3OTY/story/>

Garita, C., Ortiz, G., & Mora-Mora, J. (2018). Análisis de requerimientos para un sistema de monitoreo de puentes. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(4), pág. 63-72. Recuperado de: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3965/3548

Grajales (2000) "Tipos de investigación" Recuperado de: <https://cmappublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>

JICA. (2007). *The Study on Capacity Development in Bridge Rehabilitation Planning, Maintenance and Management base on 29 Bridges of National Highway Network in Costa Rica*. Japan International Cooperation Agency.

LanammeUCR (2018). ANALISIS A NIVEL ESTRATEGICO DE LA SITUACION DE LA GESTION DE PUENTES DE LA RED VIAL NACIONAL EN COSTA RICA (Informe: LM-PI-AT-086-18). Recuperado de: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1418/Informe%20FINAL%20LM-PI-AT-86-18_ff_jd_ws%20MCH_PAB_LL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MOPT. (Enero de 2007). *Manual de Inspección de Puentes*. Recuperado de https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual_inspeccion2007.p

df?MOD=AJPERES

MOPT. (2007). Lineamiento para Mantenimiento de Puentes

Ortiz, G. (Setiembre de 2012). *eBridge: Predicción remota de falla en puentes*. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5149>

Tecnológico de Costa Rica. (2013). CONTRATO TEC-CONAVI. Recuperado de: <https://www.tec.ac.cr/contrato-conavi-tec>

Umaña, J. (8 de Febrero de 2019). Resultados de eBridge son analizados en la Asamblea Legislativa. Recuperado de Hoy en el TEC: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/02/08/resultados-ebridge-son-analizados-asamblea-legislativa>

Winiker Pérez, T. F. (Junio de 2019) Manual para el mantenimiento de puentes de Costa Rica. Proyecto Final de graduación para optar por el título de Licenciatura de Ingeniería en Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción. Tecnológico de Costa Rica

Apéndices

1. Resumen de la gestión de mantenimiento de puentes.
2. Propuesta de valoración en la intervención de las obras de mantenimiento de Puentes.
3. Descripción de fuentes consultadas para la elaboración del proyecto.
4. Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes.

1. Resumen de la gestión de mantenimiento de puentes.

Resumen de la Gestión de Mantenimiento de Puentes

GERARDO CAMPOS CHACÓN

2021

Filosofía

Gestión de Activos de Transporte

En la presente sección se realiza un abordaje sobre la importancia del mantenimiento de puentes, la gestión de activos viales y sus buenas prácticas. Siendo una herramienta para el lector en la adquisición de conocimiento referente al tema. Cabe destacar que lo que a continuación se detalla es un resumen de los puntos más importantes. Se señala a su vez que es necesario profundizar en el tema. Por lo que se recomienda estudiar, lo que antes como AASHTO, FHWA y NHI han desarrollado a lo largo de los años.

El mantenimiento de los activos de transporte como lo son los puentes, tiene su fundamento en la Gestión de activos de Transporte. Es por ello, que antes de que cualquier agencia de transporte quiera incursionar en el mantenimiento de sus activos entienda los principios de la gestión de activos de transporte. De esta forma, puede trabajar bajo los principios de buenas prácticas.

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la Federal Highway Administration (FHWA) han dedicado sus esfuerzos en el desarrollo de la gestión de los activos de transporte. AASHTO (2002) menciona lo siguiente: “La gestión de activos de transporte representa un enfoque estratégico para gestionar los activos de infraestructura de transporte. Se centra en los procesos comerciales del Departamento de Transporte (DOT) para la asignación y utilización de recursos con el objetivo de una mejor toma de decisiones basada en información de calidad y objetivos bien definidos.” (AASHTO, P.S-1).

Por su parte, Federal Highway Administration (2018) cita que la gestión de activos es: “Proceso estratégico y sistemático de operación, manteniendo y mejorando los activos físicos, con un enfoque de análisis tanto en ingeniería como en economía basado en información de calidad, para identificar una secuencia estructurada de mantenimiento, acciones de preservación, reparación, rehabilitación y sustitución que logren y mantengan

una estado deseado de buena reparación durante el ciclo de vida de los activos a un costo mínimo practicable”.

De esta forma, la gestión de activos abarca gran cantidad de áreas con el fin de lograr una correcta administración de los recursos. El planeamiento, la información de calidad y el monitoreo, son vitales para lograr una correcta administración.

Es importante saber que la gestión de activos de transporte no debe de verse como un extra dentro de una agencia de transporte, sino como una filosofía por implementar que traerá beneficios. Esta filosofía llega a afectar la toma de decisiones, la comunicación, planeación, sistemas de monitoreo, entre otros. Es necesario que la filosofía sea adoptada por toda la entidad y no un departamento en específico, ya que llega a afectar toda la organización. La esencia de la misma debe ser conocimiento en toda la organización. De esta forma, se pueden tomar decisiones acertadas y se tiene un correcto direccionamiento de acuerdo con las situaciones que se presenten en el día a día.

El usuario debe tener claro que la aplicación de esta filosofía y el establecimiento de un plan de mantenimiento de puentes es un proceso que busca una mejora continua. También, se requiere de tiempo y recursos económicos para su implementación. Se recalca nuevamente que no se debe ver como un gasto, sino como una inversión dados los beneficios. Entre estos beneficios AASHTO (2002) menciona los siguientes:

- Se tienen menores costos de preservación de infraestructura a largo plazo.
- Mejor rendimiento y servicio para clientes.
- Mejor rentabilidad y uso de los disponibles recursos.
- Un enfoque en el desempeño y los resultados.
- Mayor credibilidad y responsabilidad de decisiones y gastos.

Establecer un sistema de gestión de puentes maduro requiere tiempo. Esto debido a que es un proceso evolutivo en donde se busca una mejora continua. En la Figura 1. Se muestra los elementos que de acuerdo con Federal Highway Administration (2020) son necesarios dentro de un sistema de gestión de puentes.



Figura 1. Componentes de un sistema de gestión de puentes.

Fuente: Bridge Management Fundamentals.

- **Compromiso Ejecutivo:** El compromiso ejecutivo debe de estar presente dentro de todo sistema debido a que son los responsables de asignar los fondos adecuados necesarios para el SGP. Además, ayudará a que la implementación del sistema sea más sencilla debido al liderazgo que pueda ejercer.
- **Estructura Organizacional:** Se debe establecer una estructura organizacional clara y definida para establecer un orden de trabajo. Es necesario definir roles y responsabilidades en los departamentos y en los funcionarios dentro de cada uno de ellos.
- **Recolección de datos:** La recolección de datos es un aspecto complejo debido a que muchos departamentos se ven envueltos en la recolección de datos, es por ello que el elemento anterior buscaba un orden de funciones. Como se verá más adelante,

se necesitan datos de inventario, costos, mantenimiento, planificación, entre otros. Se destaca que la recolección de datos es un proceso continuo en el que se busca estar actualizado.

- Coordinación con Planeación y Programación: Existe un grupo responsable de la planificación y programación de obras de mantenimiento. Se espera que exista una coordinación entre los anteriores y los encargados del SGP para mejorar las labores de planificación.
- Coordinación con Mantenimiento: Se busca una comunicación eficaz entre los encargos del SGP y los encargados de las obras de mantenimiento. Se espera que exista una retroalimentación en ambos sentidos. De lograrse lo anterior, se puede mejorar el uso de los recursos y alimentar la herramienta analítica.
- Priorización de las Intervenciones: Los criterios de priorización es determinado por la herramienta analítica y no está sujeto a percepciones de un grupo de trabajo. De esta forma, se busca ser objetivo en las intervenciones.
- Comunicación: Se debe contar con procesos de comunicación de la información a los interesados. Para ello es necesario establecer políticas y mecanismos de comunicación entre las partes involucradas.

De acuerdo también con Federal Highway Administration (2020) existe un proceso para implementar el SGP y lograr una correcta integración de los elementos, el mismo se ve descrito a continuación:



Figura 2. Pasos para Implementar un Sistema de Gestión de Puentes.

Fuente: Bridge Management Fundamentals.

- Apoyo ejecutivo: El equipo ejecutivo es el responsable de los recursos por lo que es necesario un involucramiento y comunicación con estos.
- Definición de objetivos: Contar con objetivos claro dará un direccionamiento de la organizacional. Estos deben ser reales y cuantificables para así medir los resultados.
- Definición de políticas: Al igual que los objetivos, las políticas dan dirección al SGP, pero también brindan claridad en los procedimientos y toma de decisiones.

- Establecer un equipo de Trabajo: Como se ha observado un SGP abarca muchas áreas y tareas por lo que se debe establecer un equipo multidisciplinario. Además, se definen roles y responsabilidades de los mismos.
- Crear líneas de comunicación: Tener definidos los canales y formas de comunicación dentro del equipo de trabajo. Para tener una mayor fluidez y claridad es necesario contar con formatos fijos.
- Selección de una herramienta analítica: Cada agencia debe seleccionar una herramienta analítica que se acople a sus recursos y necesidades.
- Implementación de la herramienta analítica: Una vez seleccionada la herramienta analítica se hace efectivo el uso de la herramienta.
- Evaluación de la efectividad: Se procede a valorar el éxito del SGP en relación con lo que se estableció previamente. De esta forma, se puede mejorar en las áreas que la agencia se desee enfocar.

Mantenimiento de Puentes

Garita, Ortiz & Mora-Mora (2018) mencionan que los puentes son los componentes más importantes dentro de la infraestructura vial. Esto debido a que se convierten en un cuello de botella en capacidad de carga y se destaca que si estos llegan a fallar la ruta quedaría fuera de circulación.

Pecho (2017) menciona que los puentes son los componentes más vulnerables de un sistema nacional de carreteras. Además, cita que el mantenimiento preventivo es fundamental para el desarrollo socioeconómico de un país.

Garita, Ortiz & Mora-Mora (2018) y Pecho (2017) dejan clara la importancia de los puentes dentro de un sistema de carreteras. Es por ello que el mantenimiento de puentes debe ser primordial en el mantenimiento de la infraestructura vial.

Según la Federal Highway Administration (2018) se define el mantenimiento como todo aquel trabajo que se realiza para mantener la funcionalidad del sistema de transporte o bien aquellos que se dan en respuesta a eventos específicos. El mantenimiento de

cualquier activo es fundamental ya que entre sus beneficios es alargar la vida del mismo. Además de ello, se logran prevenir fallas graves.

Dentro de las actividades de mantenimiento se pueden identificar tres actividades principales las cuales son: preservación, rehabilitación y reconstrucción. Federal Highway Administration (2018) las presenta como se muestra en la Figura 3. Es importante que las entidades a cargo del mantenimiento tengan claro que las mismas deben de estar bien delimitadas. Si bien las tres buscan el mejoramiento de las condiciones del puente tienen alcances diferentes.



Figura 3. Actividades de Mantenimiento en la gestión de activos de transporte.

Fuente: Elaboración propia a partir de Federal Highway Administration (2018)

Para poder continuar es necesario conocer cada una de ellas, a continuación, se definen:

Preservación / Mantenimiento Preventivo: Federal Highway Administration (2018) especifica que el mantenimiento preventivo es una estrategia para extender la vida de servicio de los puentes retardando el deterioro y evitar rehabilitación y reemplazos.

Mantenimiento Cíclico: Federal Highway Administration (2018) establece que son actividades de mantenimiento que se desarrollan en momentos ya especificados para preservar y retrasar el deterioro de los componentes. Detalla a su vez que la frecuencia de

las actividades responde al ambiente y las condiciones al que las estructuras están expuestas.

Mantenimiento Bajo Condiciones: Federal Highway Administration (2018) define el mantenimiento bajo condiciones como aquellas actividades que se dan en respuesta a efectos ya conocidos.

Rehabilitación: Federal Highway Administration (2018) determina la rehabilitación como las actividades necesarias, para restaurar la integridad estructural del puente, así como el trabajo para corregir defectos de seguridad importantes.

Reemplazo: Federal Highway Administration (2018) hace referencia a que son aquellas actividades en las que se reemplaza un puente ya existente, mediante obras de construcción que se dan en el mismo lugar de este.

Como se mencionó estas tres actividades, mantenimiento preventivo, rehabilitación y reconstrucción, deben estar bien diferenciadas. La demarcación proviene del nivel de acción en las que se las intervenciones. A su vez, este lo determina el estado de los elementos del puente. Para ello, las agencias deben realizar una valoración del estado del puente, tema que será abordado más adelante en el capítulo 3.

Las actividades de mantenimiento incrementan la vida de servicio de un puente y es esta el periodo que se espera que este brinde la función deseada y permanezca en servicio. Este incremento, se ejemplifica en la Figura 4. En esta se muestran dos curvas de la vida de servicio de un puente y como su estado varía con el tiempo. La curva punteada representa aquella sin ningún tipo de mantenimiento. Por su parte, la curva sólida corresponde a un puente que ha recibido actividades de preservación. Adicional a ello, el segmento celeste trata de la mejora de la condición de un puente a causa de obras de mantenimiento, es de esta forma que se aumenta la misma. Tener este aspecto claro es vital, para tener claro la importancia de un puente para las ciudades se destaca, el costo de construcción, competitividad y tiempo.

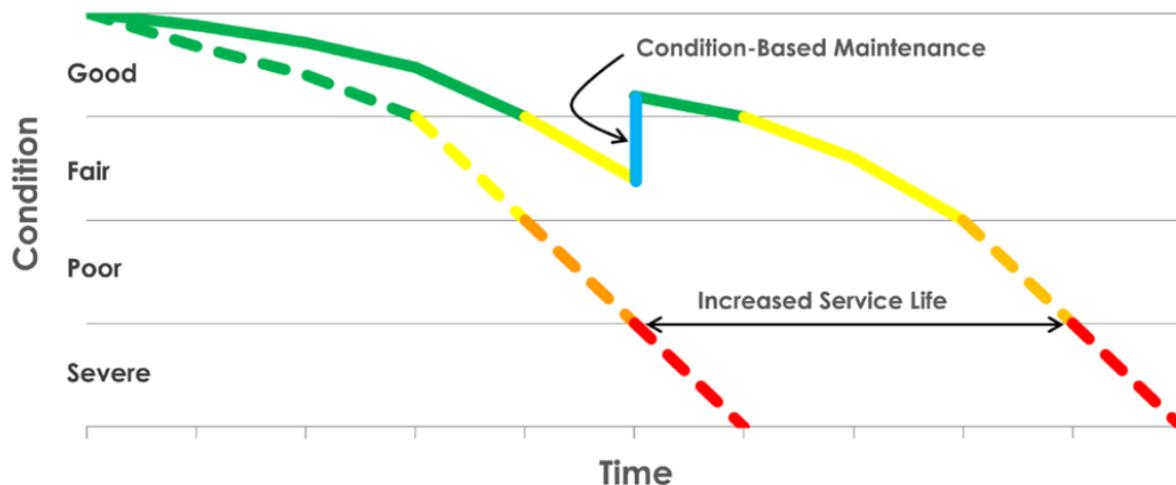


Figura 4. Incremento de la vida de servicio producto del mantenimiento.

Fuente: Federal Highway Administration (2018).

Muchas entidades a cargo del mantenimiento de puentes trabajan bajo la modalidad de “lo peor primero”. Esta modalidad enfoca los esfuerzos en atender primero aquellas estructuras que se encuentran en peor estado. En algunos casos, se debe a que se considera que las estructuras en buen estado no necesitan intervención alguna. Puede deberse también a problemas de financiamiento. Sin embargo, sea cual sea la circunstancia, es necesario realizar y priorizar actividades de Preservación.

La priorización de las actividades de Preservación puede verse como un costo innecesario sin embargo, Federal Highway Administration (2018) indica que las actividades de preservación derivan en un beneficio económico al largo plazo. Lo anterior se debe al incremento de la vida de servicio de las estructuras. También se debe tomar en cuenta que las actividades de rehabilitación y construcción son significativamente más costosas que las de mantenimiento. Si se toma en cuenta que las obras de mantenimiento retrasan dichas actividades (rehabilitación y construcción) se deriva en beneficios económicos.

Direccionamiento

Como se mencionó anteriormente, un sistema de gestión de puentes consiste en un proceso cíclico que se va perfeccionando con el paso de los años. El direccionamiento constituye la esencia del SGP. Como su nombre lo indica, se busca trazar un norte de trabajo. En esta etapa se determina el alcance del trabajo, objetivos, metas, alcance, estructura organizacional, entre otros.

En muchas ocasiones las agencias desarrollan su trabajo bajo el modelo “lo malo primero”. Este modelo basa su estrategia en brindar labores de mantenimiento a las estructuras cuando se encuentren en un estado crítico. Sin embargo, como se indicó en la filosofía, este modelo es erróneo porque no fomenta el mantenimiento de las estructuras cuando se encuentran en buenas condiciones. Con la fijación de Metas, Objetivos y Medidas de Desempeño se busca evitar dicha práctica. Además de ello se orienta el trabajo al logro y comprobación de resultados.

Planteamiento de Objetivos

De acuerdo con Federal Highway Administration (2020) los objetivos son acciones determinadas a corto plazo. Estas acciones son referentes al mantenimiento de puentes. Además, deben ser específicos, ya que es necesario que sean medibles. A menudo se encuentran delimitados por tiempo y presupuesto.

Los objetivos deben responder a las necesidades que las agencias establezcan. Estas necesidades responden al estado de los puentes y sus elementos, así como las prioridades que la organización desee establecer.

Las futuras acciones de preservación, rehabilitación y reconstrucción dependen directamente de los objetivos que se planteen. Lo anterior es debido a que los recursos se enfocaran en el cumplimiento de los objetivos. Anteriormente se hizo hincapié en que las actividades de preservación deben de ser prioridad dentro del SGP, por lo que debe quedar establecido en los objetivos de la agencia.

El Cuadro 1. detalla ejemplos de objetivos de agencias en Estados Unidos. Este es solo una guía para que las agencias puedan establecer los propios. Se recalca

nuevamente, que cada agencia debe seleccionar objetivos de acuerdo con sus necesidades.

Cuadro 1. Ejemplos de Objetivos para un SGP	
Detalle	Objetivo
Ejemplos	Mantener el 90% de los puentes en un estado de condición buena.
	En actividades cíclicas: sellar las cubiertas de concreto con sellador penetrante impermeable cada 5 años, pintar vigas de acero o vigas termina cada 10 años o lavar las cubiertas de puentes de concreto cada año.
	Para actividades basadas en la condición: mantener el 80% de las juntas de expansión en estado de condición 2 o mejor, mantener el 70% de las cubiertas del puente en buenas condiciones o mantener el 70% del acero recubierto o el 70% de las superficies en buen estado.
Departamento de Transporte de Virginia	No tener más del 8% de las estructuras en estado estructural deficiente.

Fuente: Elaboración propia a partir de Establishing a Bridge Preservation Program.

Planteamiento de Metas

Las metas indican la filosofía que seguirá la organización, ya que hace referencia a proyecciones a largo plazo. Las mismas no son medibles de manera inmediata, sino que marcan el ideal del plan de mantenimiento. En el Cuadro 2. se indican algunos ejemplos de metas

Cuadro 2. Ejemplos de Metas para un SGP

Detalle	Meta
Ejemplos	Aplicar mantenimiento preventivo a los puentes para disminuir las actividades de rehabilitación y reemplazo.
	Conservar el 80% de los puentes en estado bueno de condición.
	Intervenir todos los puentes en estado deficiente.
	Mejorar la carpeta asfáltica del 5% de los puentes cada 2 años
Departamento de Transporte de Virginia	Reducir el número de estructuras superdeformadas.
	Restaurar estructuras que pueden volverse deficientes.
	Mejorar la capacidad de la estructura si se requiere por el crecimiento del sistema.
	Preservar estructuras que están en buen estado.
	Proporcionar nuevas estructuras que sean más resistentes al deterioro que las estructuras existentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Establishing a Bridge Preservation Program.

Como se observa en el cuadro anterior, las metas son generales, es decir, la esencia de lo que busca la agencia de transporte. Al igual que en este caso la tercer meta del Departamento de Transporte de Virginia busca mantener entre su ejecución las actividades de mantenimiento preventivo. Las metas también pueden basarse en porcentajes. Estas también se pueden basar en actividades de mantenimiento específicas. Las metas no se rigen bajo una estructura específica, por lo que pueden ser muy variables.

Planteamiento de Medidas de Rendimiento.

De acuerdo con Federal Highway Administration (2020) las medidas de rendimiento son los pasos que determinan el estado de cumplimiento de los objetivos. Por lo que estas llegan a ser mecanismos que demuestren el efecto de las acciones de mantenimiento en el global de los activos. Las medidas de desempeño deben ser las suficientes para cubrir los objetivos propuestos y así ver el desempeño logrado en cada uno. Se busca que las medidas de desempeño sean fácilmente ejemplificadas mediante gráficos y tableros de información.

La FHWA en su material “Establishing a Bridge Preservation Program” determina distintos tipos de medidas de rendimiento, las cuales se describen a continuación:

- Condición del Punte: Esta medida de desempeño se basa en el estado de condición del puente. En la sección 3.3 se detalla sobre tres distintas forma de determinar el estado de un puente.
- Trabajo Acumulado: El trabajo acumulado consiste en el porcentaje de tareas de mantenimiento, que se debe de planificar, las programadas y las ejecutadas. La variación de estos porcentajes se pueden utilizar como indicadores de medidas de desempeño. Por ejemplo, el aumento de la variación de trabajo necesitado es un rubro negativo.
- Protección contra eventos extremos: Corresponde a mediciones que determinan la vulnerabilidad de la estructura ante diferentes circunstancias. Federal Highway Administration menciona entre ellas: Vulnerabilidad ante un sismo, vulnerabilidad a la fatiga del concreto o acero, vulnerabilidad a la socavación, entre otros.

- Disminución de los costos: Se refiere a la disminución en los costos del usuario y de la agencia en la vida de servicio del puente.

En el Cuadro 3. Se muestran algunos ejemplos de medidas de rendimiento que pueden servir de guía.

Cuadro 3. Ejemplos de medidas de rendimiento para un SGP	
Detalle	Medida de Desempeño
Ejemplos	Porcentaje de puentes que se limpiaron anualmente.
	Crecimiento anual de los puentes en buen estado.
	Porcentaje de apoyos en condición de estado superior a 2.
Departamento de Transporte de Virginia	Mantener el 90% de las estructuras de los puentes en buen estado.
	Sello de losas cada 5 años, pintura en los extremos de las vigas cada 10 años o lavado de las losas anualmente.
	Mantener el 80% de las juntas de expansión en estado de condición 2 o mejor.
	Mantener el 70% de las losas en buen estado o el 70% del acero recubierto.

Fuente: Elaboración propia a partir de Establishing a Bridge Preservation Program.

Proceso para la creación de Objetivos y Metas

Federal Highway Administration (2020) propone un proceso para la creación de estos, el cual se describe en la Figura 5. Como se observa este es un proceso cíclico por

lo que cada cierto periodo se debe comprobar la efectividad y realizar ajustes en casos de ser necesario.

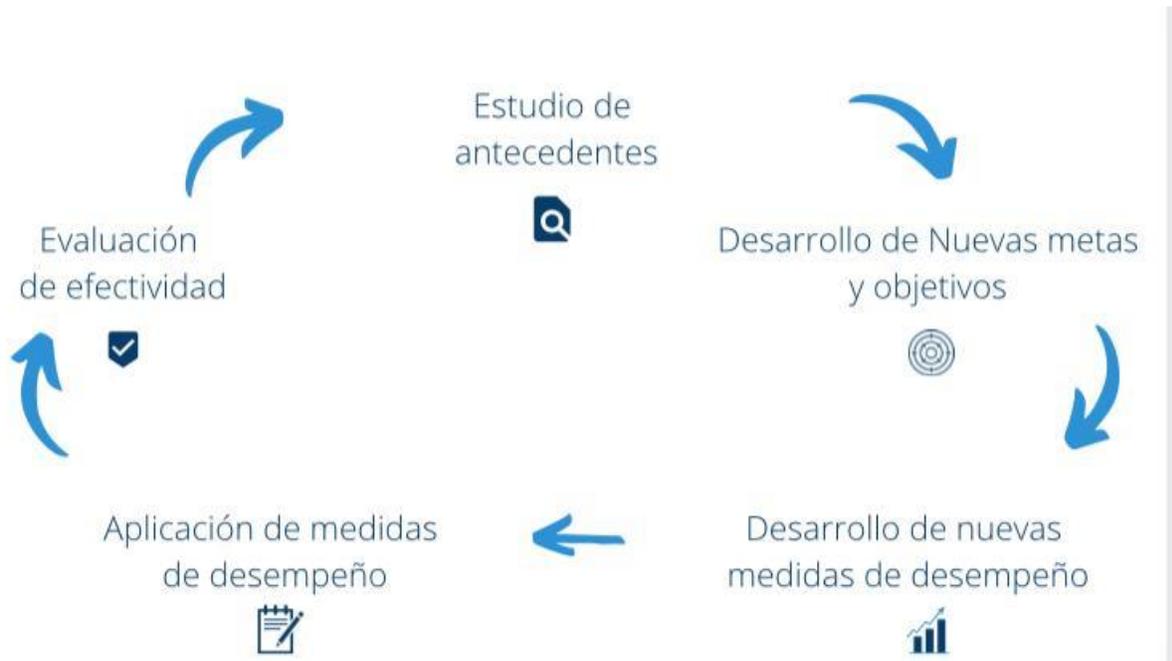


Figura 5. Proceso para la selección de metas, objetivos y medidas de desempeño.
Fuente: Elaboración propia a partir de Establishing a Bridge Preservation Program.

Estudio de Antecedentes: El proceso tiene su inicio en un estudio de antecedentes. En este estudio, se analizan las metas, objetivos y medidas de desempeño anteriores. También se analiza la participación de los involucrados y se retroalimenta la organización en cuanto al direccionamiento actual.

Desarrollo de Nuevas Metas y Objetivos: Se debe contemplar el uso de nuevas metas y objetivos. Seguido de ello, se seleccionan las nuevas metas y objetivos o bien se realiza un ajuste en los presentes. Cabe recordar que estos cambios redireccionarán las intervenciones de mantenimiento.

Desarrollo de Nuevas Medidas de Desempeño: Con el cambio de las metas y objetivos se tienen que crear nuevas medidas de desempeño. Se debe valorar las posibles medidas de desempeño acorde con lo seleccionado en el paso anterior. Seguidamente, se selecciona las medidas de desempeño deseadas.

Aplicación de Medidas de Desempeño: En este paso se ejecutan las medidas de desempeño previamente seleccionadas. Se debe ejecutar un análisis de qué factores están afectando el desempeño, en el estado de cumplimiento de metas y objetivos. Asimismo, se debe buscar oportunidades de mejora.

Evaluación de la Efectividad: En esta etapa se presentan los resultados del análisis de la etapa anterior. Se evalúa la efectividad del programa y el desempeño logrado. También se tiene una retroalimentación de las partes involucradas, de cara al estudio de antecedentes y futuros ajustes.

Manejo de la Información

El manejo de la información es un pilar importante dentro de la gestión de puentes. Como se mencionó en el primer capítulo, La gestión de activos de transporte se basa en información de calidad. Sin embargo se debe de tomar en cuenta que la información no tenga todo el protagonismo dentro del plan, sino que llega a ser un pilar fundamental para la toma de decisiones. Como se observó en la Figura 2. el manejo de la información es una de las últimas etapas que se deben abordar dentro un plan de gestión de puentes. En las siguientes secciones de este capítulo, se abordarán aquellas áreas de la información que establece la teoría como necesarias.

Antes de que una agencia se adentre en la generación de información es necesario realizar una análisis de qué información dispone, de esta forma podrá distribuir de una mejor forma sus recursos y podrá invertirlos de una mejor forma, para abordar con profundidad las áreas en las que se encuentra un mayor rezago.

Sistema de Gestión de Monitoreo de Puentes

Para poder llevar una buena labor, las herramientas computacionales se han vuelto indispensables. En la actualidad, el almacenamiento y análisis de la información se logra como los sistemas de gestión de puentes. Siendo estos herramientas computacionales desarrolladas para el almacenamiento y análisis de la información en un modelo de gestión de puentes.

Con el paso de los años, se han desarrollado distintos sistemas de gestión de puentes con distintas funciones. Es necesario que las agencias adopten o desarrollen uno de estos. La adquisición de uno de estos sistemas se debe de adecuar a las necesidades y recursos de cada agencia. En el Cuadro 4, se brinda un resumen de algunos de estos sistemas.

Cuadro 4. Sistemas de Gestión de Puentes

Sistema de Monitoreo de Puentes	Descripción
PONTIS	Es el SGP más utilizado en los Estados Unidos que también se usa en otras latitudes. Es un sistema bastante completo, que realiza modelos de deterioro markoviano.
OBMS	Contiene módulos de inventario, inspección, mantenimiento, análisis y modelos. Siendo este último un módulo, donde se modifican tablas usadas en el proceso de análisis.
SAEP	Es un sistema desarrollado por Costa Rica, que busca almacenar la información de inventario e inspecciones. Se pretende que la herramienta logre determinar el grado de deterioro y costos asociados al mantenimiento.
Sistema Alemán	Sistema capaz de proponer estrategias de mantenimiento a corto y largo plazo. Además, las evalúa en torno a los costos de mantenimiento y construcción
DANBRO	Se caracteriza por no ser una herramienta de gestión completa, aunque contiene módulos de gran relevancia. Se cuenta con una base de datos administrativos, catálogo de costos, presupuesto, datos históricos, mantención y de optimización.
HiSMIS	Sistema desarrollado en Reino Unido. Cuenta con módulo de inventario, inspección, mantención, cambios históricos y de información del usuario.

Sistema Japonés	Sistema de predicción de deterioro y evaluación que detecta cuáles son las estructuras más dañadas. Se alimenta de los datos de inspección y ayuda a establecer planes de mantenimiento.
-----------------	--

Fuente: Elaboración propia a partir de Molina, F. (2012).

Garita, Ortiz & Mora-Mora se dieron a la tarea de desarrollar una comparativa dentro de distintos sistemas de gestión de puentes. Dentro de la comparativa se tomaron en cuenta aquellas funciones que cada sistema tiene, así como aquellas que se espera tener. En la Figura 6, se muestra el detalle de estas funciones y en la Figura 7, se realiza la comparativa de los sistemas en el que se evidencia si los sistemas cuentan con cada una de las funciones.

Área	Criterio	Descripción
Modelo estructural	Administración de información técnica	Gestión de información básica y aspectos técnicos de puentes.
	Modelo de fiabilidad	Modelo probabilístico para estimar el comportamiento estructural de puentes.
	Inspección	Almacena la información de inspecciones realizadas.
Gestión de información	Inteligencia de negocios	Análisis de datos e información con base en técnicas de inteligencia de negocios.
	Red de comunicación	Canal de comunicación utilizado para transferir datos entre el registrador de datos y el encargado de realizar el análisis.
	Integración de información	Proporcionar un único punto de entrada a los usuarios para consultar la información estratégica de diferentes componentes.
	Aplicación para dispositivos móviles	Programa se accede directamente desde el celular o cualquier dispositivo móvil.
Información geográfica	Riesgo ambiental	Análisis ambiental, para prevención o en caso de que un daño ambiental afecte la estructura del puente.
	Sistema de información geográfico	Proporcionar acceso a la información geoespacial necesaria para evaluar adecuadamente aspectos ambientales.
Administración de mantenimiento	Priorización	Priorizar las actividades de mantenimiento en base a la condición de las estructuras.
	Proyección	Proyectar a varios años escenarios de reparación o remplazo.
	Predicción	Predecir fallas y vida útil de los puentes.
	Gestión de presupuesto	Incorporar restricciones de presupuesto para priorizar las actividades de mantenimiento con base en fondos disponibles.
	Gestión de costos	Modelo que permite cuantificar los costos de inspección, mantenimiento, reparación fallas, entre otros.
	Generación de reportes	Genera un reporte en documento PDF, EXCELL, XML o lo visualiza en el sistema.
Monitoreo	Monitoreo automático de estructuras	Tipos de monitoreo realizado. Permanente, o periódico.

Figura 6. Procesos de un sistema de monitoreo de puentes.

Fuente: Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018).

	SIPUMEX	LTBP	BRIMOS	SMH Live	Pontis	SAEP	E-Bridge 2.0	Prototipo Chile
Administración de información técnica	Si.	Si.	Si.	-	Si.	Si.	Si.	Si.
Modelo de fiabilidad	Si.	-	-	-	-	-	Si.	-
Inspección	-	Si.	Si.	-	Si.	Si.	Si.	Si.
Inteligencia de negocios	-	-	-	-	-	-	Si.	-
Red de comunicación	Si.	No.	-	Si.	-	No.	Si.	No.
Integración de información	-	Si.	Si.	Si.	Si.	Si.	Si.	-
Aplicación para dispositivos móviles	No.	No.	No.	No.	No.	No.	Si.	No.
Riesgo ambiental	Si.	-	Si.	-	-	-	No.	-
Sistema de información geográfico	-	-	Si.	No.	-	Si.	Si.	Si.
Priorización	Si.	-	Si.	-	Si.	Si.	No.	No.
Proyección	-	-	-	-	Si.	-	No.	No.
Predicción	Si.	-	Si.	Si.	Si.	No.	No.	No.
Gestión de presupuesto	-	-	-	-	-	No.	No.	No.
Gestión de costos	Si.	Si.	-	-	Si.	Si.	No.	Si.
Generación de reportes	Si.	-	Si.	Si.	Si.	Si.	Si.	-
Monitoreo automático	Si.	No.	Si.	Si.	-	-	Si.	No.

Figura 7. Análisis comparativo entre sistemas de monitoreo de puentes.

Fuente: Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018)

Para finalizar con su investigación Garita, Ortiz y Mora-Mora validaron con potenciales usuarios y expertos la importancia de las funciones. En la Figura 8. se muestran los datos arrojados. Se tiene que entre más cercano sea el valor a 5 tiene mayor importancia. Modelo de fiabilidad, priorización, inteligencia de negocios y administración de información técnica, son aquellos de los procesos más necesarios. Las agencias pueden basar la escogencia de su sistema al tomar como punto de partida lo arrojado por dicha investigación. Cabe destacar que las agencias deben realizar un análisis para verificar cuál sistema se adecúa más a sus necesidades.

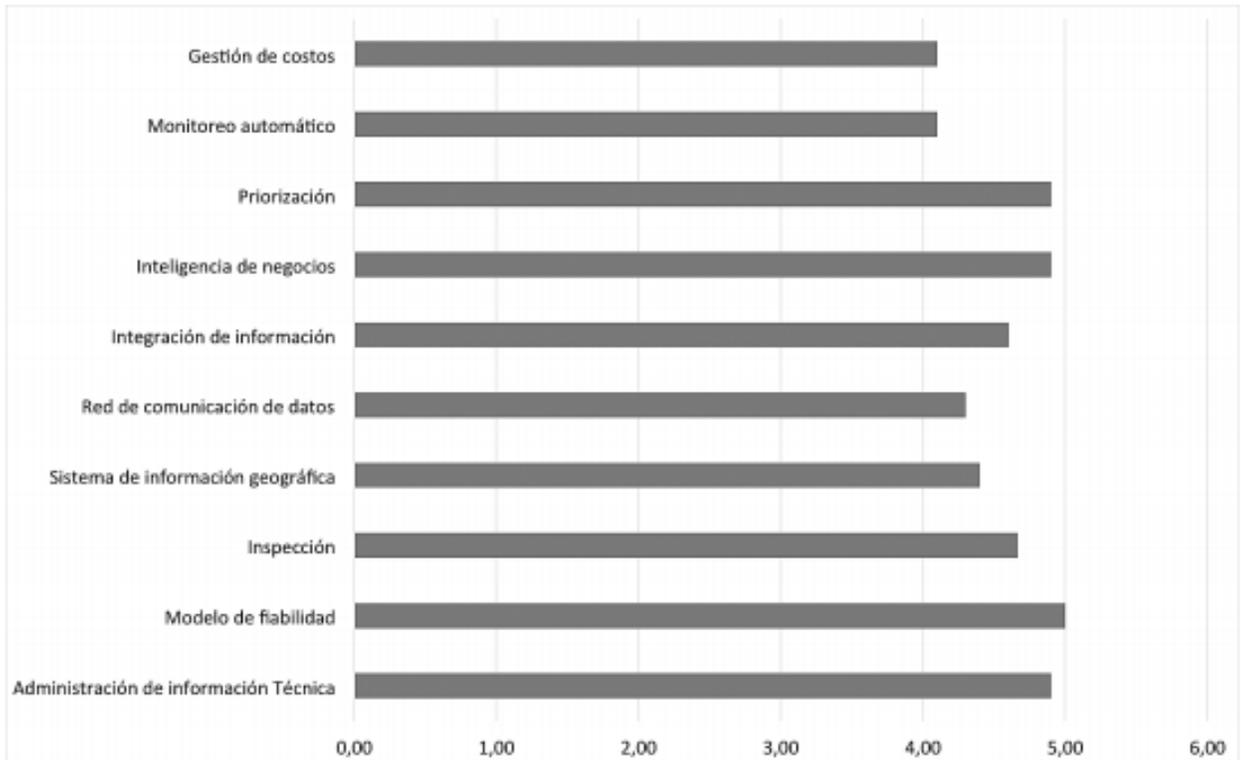


Figura 8. Importancia de las funciones de un sistema de monitoreo de puentes.

Fuente: Garita, Ortiz y Mora-Mora (2018).

Antes de la escogencia de un sistema de monitoreo de puentes, las agencias deben estudiar los distintos softwares disponibles en el mercado. La selección depende de los recursos y necesidades que se tengan. Análisis como los realizados por Garita, Ortiz & Mora-Mora pueden ser un punto de partida para la escogencia de una herramienta analítica.

Generación de Información

Como se mencionó, los sistemas de gestión de puentes almacenan y analizan la información recabada por las agencias. Anteriormente, se describieron algunos de los sistemas existentes y algunas de las funciones que cada uno de estos tienen. De acuerdo con Federal Highway Administration (2020) las funciones más importantes se describen en la Figura 9. Cabe destacar que cada uno de estos módulos es necesario para poder llevar

un correcto análisis, los cuales son: inventario, estado de condición, actividades de mantenimiento, costo y análisis de la información.



Figura 9. Información necesaria dentro de un sistema de gestión de puentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Establishing a Bridge Preservation Program.

Es importante tener claro que la recolección de la información debe ser tomada por personal capacitado con conocimiento en el área que se está investigando. En caso contrario, se puede incurrir en errores al analizar información. Además, la información debe estar actualizada ya que con esta se trabajará. En las siguientes secciones del presente capítulo se desarrollaran cada uno de estos módulos

Inventario

La sección de inventario es el punto de partida dentro del desarrollo de la información. Es el conjunto de datos general de cada uno de los puentes, que la agencia va a proveer mantenimiento. De acuerdo con AASHTO (2011) esto servirá para unir los datos necesarios dentro de un SGP. Seguidamente, se muestra la información requerida en el inventario de acuerdo con AASHTO (2011):

- Ubicación: Se determina la ubicación geográfica del puente, al buscar que sea lo más detallada posible. Se ubica por el número de ruta, latitud y longitud.

- Datos de Jurisdicción: Ubicación del puente en sentido territorial en sus divisiones administrativas. Por ejemplo: provincia, cantón y distrito o condado, municipio y distrito.
- Datos de Funcionalidad: Especificar número de carriles, velocidad requerida, estaciones de peaje, presencia de aceras y bordillos, propósitos especiales de la estructura.
- Características de Desempeño: Se detalla la geometría del puente, restricciones de vía y obstrucciones presentes.
- Datos Históricos: Datos históricos de la construcción de la estructura.
- Archivos valiosos: Archivos relevantes del puente, tiende a ser registros fotográficos.

Existe gran variación entre los datos que se puedan considerar como información básica. Cada agencia, determinará qué datos le pueden ser útiles dentro de su sistema. En los Anexo 1, se muestra la recomendación de AASHTO en los datos de inventario. En los Anexos 2. y 3, se dan ejemplos fichas de inventario usadas en distintos países.

Contar con un inventario actualizado ayudará a delimitar el alcance y delimitar el número de estructuras que se atienden. A su vez, servirá para poder mostrar resultados claros a los ejecutivos y partes interesadas, ya que se ha delimitado el campo de acción, por lo que se pueden mostrar datos estadísticos. Dentro de lo más importante es que esta información será relevante, para analizar a cuáles puentes se les dará mantenimiento en el futuro y en la creación de programas.

Los datos de inventario deben ser de libre acceso para los actores involucrados en la gestión. Es una práctica común, albergar toda la información dentro de un mismo servidor.

Estado de la Estructura

El estado de condición consiste en la evaluación objetiva de los activos mediante indicadores. Se busca que esta evaluación sea lo más objetiva posible y no esté sujeta al criterio de un evaluador. Para ello, es necesario establecer parámetros específicos de

medición aplicables para todos los puentes que determinen el estado de estos y sus elementos.

Este tipo de trabajo debe realizarse por expertos de campo mediante inspecciones presenciales. Es de alta relevancia que dicha información sea específica y detallada ya que de ello dependen las intervenciones, es de acuerdo con el estado del puente y el direccionamiento que estas se planifican y priorizan. Servirá a su vez para establecer medidas de rendimiento y luego comprobar el cumplimiento de las mismas.

Primeramente, se tiene el estado de condición a nivel de elemento. En la Figura 10. se muestra el estado de condición a mencionado que muestra Federal Highway Administration (2018). Se tiene que de acuerdo con el puntaje obtenido en cada elemento se le debe de aplicar alguna actividad de mantenimiento, siendo 1 la mejor condición y 4 la peor de ellas.

Acciones con Base en el Estado de los Elementos		
Grado de deterioro	Detalle	Actividades
1	Satisfactorio	<ul style="list-style-type: none"> • Preservación • Mantenimiento cíclico
2	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento cíclico o mantenimiento bajo condición
3	Inaceptable	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento bajo condición • Rehabilitación cuando el mantenimiento bajo condición no es rentable • Reemplazo cuando su costo es favorable versus mantenimiento bajo condición
4	Deficiente	<ul style="list-style-type: none"> • Rehabilitación o reemplazo

Figura 10. Estado de Condición de los Elementos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Federal Highway Administration (2018).

Otro indicador dado por FHWA (2020) es el “Estado de condición de puentes del inventario nacional de los Estados Unidos” (NBI Condition Ratings). Este es un sistema de puntuación que hace una comparación entre lo construido y lo presente en el sitio. FHWA (2020) menciona que: “Las calificaciones se basan en la evaluación de los materiales y la condición física de la plataforma, la superestructura y la subestructura, con la evaluación del estado de las alcantarillas también incluida”. Este sistema difiere del anterior, al no ser tan exacto. Puede ser un poco subjetivo ya que entra en participación el criterio del inspector, esto a pesar de que se rige por una normativa previamente establecida.

En la Figura 11. Se muestra el sistema de puntuación de NBI Condition Ratings. Al igual que el anterior, es un sistema de puntuación que en este caso la valoración se da de 0 a 9, siendo 0 el peor valor y 9 el mejor. Otra diferencia es que este indicador consiste en una valoración global del puente y no a nivel de elemento. De igual forma, se propone alguna actividad de mantenimiento acorde con la puntuación obtenida.

Clasificación de condiciones del inventario nacional de puentes		
Valor	Detalle	Acciones de mantenimiento
9	Excelente condición.	Mantenimiento cíclico
8	Buena condición: Pequeños problemas.	
7	Muy buena condición: sin problemas notorios.	
6	Condición satisfactoria: poco deterioro en los elementos estructurales.	Mantenimiento bajo condición
5	Condición aceptable: los elementos estructurales están bien pero pueden presentar pérdida de sección, o agrietamiento, desconchado o socavación.	
4	Mala condición: Avances en la pérdida de sección deterioro, desconchado y socavación.	Rehabilitación Reemplazo
3	Condición seria: en la pérdida de sección deterioro, desconchado y socavación. Posibles fallos locales, fatiga y grietas.	
2	Condición crítico: Deterioro avanzado en los elementos estructurales primarios. El puente debe cerrarse hasta ser intervenido.	
1	Condición de falla inminente: Avance en el deterioro de ,manera crítica. Movimiento horizontal o vertical afectando la estabilidad.	
0	Estado de falla: fuera de servicio.	

Figura 11. Índice de Calificación del Inventario Nacional de Puentes de E.E.U.U.
Fuente: Elaboración propia a partir de Federal Highway Administration (2018).

Como tercer indicador se tiene el Índice de Salud. Este consiste en un valor de 0 a 100 que refleja solamente la condición estructural del puente, siendo 100 el estado óptimo de salud y 0 el peor estado. De acuerdo con FHWA (2020) el propósito del índice es medir el desempeño del mantenimiento y rehabilitación de puentes.

FHWA (2020) dice que: “El cálculo se realiza utilizando el valor de todos los elementos en su estado de condición actual dividido por el valor de todos los elementos en el estado de condición 1, multiplicado por 100. El valor de los elementos se da usando el costo de remplazo multiplicado por un factor de peso”. En la ecuación 1. se demuestra el cálculo del índice de salud.

$$\text{Índice de Salud: } \frac{\text{Valor Actual del Elemento}}{\text{Valor total del Elemento}} \qquad \text{Ecuación 1.0}$$

Como recomendación de este escrito se propone que el método de valoración sea a nivel de elemento, es este el descrito por el estado de condición o un similar. Por lo que se debe que identificar los posibles daños y tener un criterio de evaluación asociado a cada daño. Seguido de ello, se debe crear un sistema de evaluación cuantitativo de acuerdo con el grado de deterioro asociado a cada daño. Este sistema puede establecerlo cada agencia de acuerdo con su conveniencia, sin embargo, debe de creado por profesionales. En la literatura se cuenta con material que las agencias pueden adecuar de acuerdo con sus necesidades.

Como se evidencia este es un trabajo extenso y riguroso debido a que se debe identificar, todos los posibles daños y asignarles una puntuación de acuerdo con el deterioro. Es pertinente que este proceso se realice con cada daño y a nivel de elemento. Se debe recordar que a mayor información de calidad se pueden tomar mejores decisiones, como lograr mejores decisiones en el planteamiento de metas, actividades de mantenimiento, muestra de resultados, programar actividades de mantenimiento con mayor exactitud en cuando al alcance de la intervención y su costo aproximado, entre otros.

Inspecciones

Con el paso del tiempo, las estructuras tienden a sufrir deterioros en sus elementos debido a la carga vehicular, condiciones climatológicas, vandalismo, el ambiente, entre otros. Debido a esto se hace necesaria la inspección del puente, para así determinar los daños sufridos. En ocasiones, se pueden presentar daños difíciles de localizar, por lo que las inspecciones deben de ser meticulosas.

Cada agencia debe establecer un procedimiento para las inspecciones y levantamiento de los daños. En las inspecciones se determina el estado de condición del puente y sus elementos de acuerdo a la metodología que cada agencia haya escogido.

Molina (2012) describe distintos tipos de inspecciones, los cuales se presentan en seguida:

- Inspección Superficial: “Este tipo de inspección se realiza por personal de mantención que tiene conocimientos de los procedimientos de evaluación, pero sin embargo, no posee una instrucción acabada acerca de las patologías de puentes. El objetivo es observar los daños más visibles o evidentes” (Molina, 2012, p. 25).
- Inspección Visual: “Este tipo de inspección se realiza a todas las partes accesibles del puente y se lleva a cabo por técnicos que tienen algún grado de instrucción en la inspección de puentes. La realización de las labores no requiere de equipamiento especial como maquinaria o instrumentos.” (Molina, 2012, p. 25).
- Inspección Principal: “Las inspecciones principales son una evaluación visual de todas las partes de la estructura del puente, realizada a una distancia en que los elementos se puedan tocar por el personal que evalúa.” (Molina, 2012, p. 26).
- Inspección Profunda: “Estas inspecciones se realizan mientras se realizan trabajos de reparación en las estructuras. A través de estas inspecciones se puede analizar una parte o todo el puente.” (Molina, 2012, p. 27).
- Inspección Especial: “Las inspecciones especiales se realizan cuando existe un problema puntual, dudas en una inspección o se han descubierto fallas riesgosas en otros puentes similares.” (Molina, 2012, p. 28).

Procesos de Mantenimiento

Este módulo consiste en determinar cuáles son las labores de mantenimiento que la agencia realizará. Se recuerda que las actividades de preservación juegan un papel importante, por lo que se busca un listado amplio de estas. En el caso de las actividades de mantenimiento cíclico es necesario definir la recurrencia de los trabajos. Por otra parte, también es necesario contar con un catálogo de las actividades de rehabilitación y reemplazo.

Se debe contar con contenido que especifique la forma de ejecutar los procesos de mantenimiento. Por lo que se debe tener manuales que detalle lo anterior. En la literatura existe gran cantidad de manuales que explican la forma de tratar los daños, los cuales pueden ser una referencia para las agencias. No obstante, una buena práctica es que estén documentados cuáles serán los procesos estándar. Se recomienda que por cada daño, se pueda contar con más de un mecanismos de mantenimiento. Posteriormente, se hará la mejor escogencia de acuerdo con las circunstancias que se tengan.

En el Cuadro 5. se muestran ejemplos de actividades de preservación que pueden ser desarrolladas por las agencias.

Cuadro 5. Actividades de Mantenimiento del Departamento de Virginia.		
Detalle	Acciones	Intervalo (años)
Ejemplo	Lavado de losa.	2
	Lavado de subestructura.	2
	Lavado de Vigas.	2
	Limpieza de juntas de expansión.	2
	Colocación de Sobrecapa de Asfalto.	10
	Sellado de grietas.	5
Departamento de Transporte de Virginia	Lavado de la losa de concreto.	1
	Barrido de la losa del puente.	1
	Lavado de apoyos y vigas.	2
	Remoción de vegetación.	2
	Mantenimiento rutinario en estructuras de madera.	2
	Remoción de escombros en alcantarillas.	5
	Limpieza y lubricación de apoyos	4
	Reemplazo programado de juntas de expansión.	6
	Pintura de los finales de viga.	10
Colocación de epóxico.	15	

Fuente: Elaboración propia a partir de Establishig a Bridge Preservation Program.

Costos

Consiste en la generación de información en torno los costos asociados a las distintas obras de mantenimiento que se desarrollen. Este módulo juega un papel importante, ya que las actividades de mantenimiento dependen de un presupuesto previamente establecido. Con

base en ello se planifican y programan las intervenciones. Estos datos deben de determinarse de acuerdo con los procesos de mantenimiento con los que cuenta la agencia.

Los costos en el sector construcción tienden a variar con el paso del tiempo, por lo que este módulo debe de actualizarse periódicamente. Se deben realizar modificaciones cuando se identifique que las estimaciones difieren mucho de la realidad.

Las mediciones de costos tienden a ser estimaciones, sin embargo, entre más detalladas se realicen en primera instancia se podrá contar con valores más confiables, en consecuencia se tendrá mayor exactitud en la planificación. Normalmente los costos se manejan de manera global, por ejemplo el costo de reemplazo por metro lineal de losa.

Análisis de la Información

El análisis de la información se da una vez que se haya recabado esta. Al tener gran cantidad de datos se hace indispensable el uso de herramientas computacionales capaces de procesar todo el conjunto de datos.

Normalmente, existirán muchas obras de mantenimiento necesarias, sin embargo, se manejan limitaciones de presupuesto y tiempo. Es en este escenario donde se hace visible la priorización. Se busca que los softwares dedicados a la gestión de puentes colaboren en dicho escenario. Por lo que estos pueden realizar distintos análisis. De acuerdo con Molina (2012) se manejan tres análisis básicos:

1. Análisis Costo Efectividad: Bajo este enfoque, los proyectos se agrupan desde menor a mayor costo por unidad de mejora. La unidad de mejora puede ser el cambio incremental en la condición física o el beneficio del usuario (Molina, 2012, p. 29),
2. Análisis Costo Beneficio: Se analizan los posibles beneficios económicos de acuerdo con el costo vinculado a las obras de mantenimiento. Se tendrá como prioridad aquellas obras que den una mayor tasa de retorno. Cabe destacar que este análisis se realiza bajo distintos horizontes de planificación, corto y largo plazo;

por lo que encaja de buena manera con la planificación que debe manejar un SGP. FHWA (2020) recomienda que la priorización se realice bajo esta modalidad.

3. Análisis Multicriterio: Es un análisis bastante completo debido a que permite manejar criterios adicionales que el usuario define. En este caso se tienen las políticas y objetivos de las agencias. Aunque, de acuerdo con Kulkarni et al (2004), mencionado por Molina (2012), los resultados pueden estar sesgados debido a que el usuario define los factores que le dan peso a los distintos criterios que se vayan a evaluar.

Planeamiento

Es esta sección donde converge toda la estructura del SGP. Con un direccionamiento claro visto en el capítulo 2 se tienen las políticas que regirán la creación de proyectos y programas. Asimismo, la información recabada dará los resultados de cuáles son las labores de mantenimiento que se deban de planificar.

Federal Highway Administration (2020) establece dos etapas para la creación de un plan de trabajo. La primera consta de una etapa donde se identifican todos los posibles trabajos por realizar, sin restricción alguna. En la segunda fase, se aplican las políticas y criterios de priorización a todos las posibles labores establecidas en la primera fase, es decir, se filtran las necesidades para establecer un plan de trabajo.

Es de vital importancia que la agencia cuente con políticas de priorización de las intervenciones. Se debe contar con una jerarquía que establezca toma de decisiones de estas. Es importante evitar que la escogencia se dé por un pequeño grupo de personas, debido a que puede viciar el proceso. Se recuerda que la gestión de activos de transporte se basa en la información de calidad, aspectos vistos en el capítulo 3. Por lo que el mayor peso en la priorización viene de este. Sumado a ello, muchos software en la actualidad, manejan módulos de análisis de priorización.

Una buena práctica es que en el desarrollo de un plan de trabajo, se tome en cuenta el mejoramiento de corredores viales en las actividades de preservación. Al ser actividades de poca duración, suele ser beneficioso en términos de costos mejorar un corredor a intervenir distintos puntos aislados.

Pasos para Elaborar un Plan de Trabajo

A continuación, se detallarán una serie de pasos para crear un plan de trabajo de acuerdo con Federal Highway Administration 2020. El proceso que se llevará a cabo es iterativo y aplica para obras de preservación, rehabilitación y reconstrucción. Esto debido a que basa en la priorización, un análisis costo beneficio, la variación se daría en la naturaleza de las actividades, pero el principio es el mismo.

1. Determinación de necesidades: Se proceden a cuantificar todas las necesidades que tienen todos los activos, ya sea en términos de preservación, rehabilitación o reemplazo. Este paso corresponde a la etapa de evaluación de necesidades, sin restricciones. Aquí se identifican todos los posibles candidatos.
2. Análisis Costo Beneficio: Se realiza un análisis costo beneficio de los las necesidades identificadas en el paso anterior. Si el análisis costo beneficio es bueno se envía a una lista de clasificación. En caso contrario se envía nuevamente a la lista de necesidades a la espera de una nueva valoración.
3. Comparación: Una vez que se evaluaron todas las necesidades bajo el análisis de costo beneficio se termina con una lista de posibles candidatos para un proyecto o varios proyectos. Estos serán organizados de acuerdo con el mayor beneficio que aporten.
4. Aprobación: Una vez obtenida la lista de clasificación, se procede a aprobar las actividades de la lista para un proyecto. Esto se da de acuerdo con los recursos disponibles para el periodo de planificación. Los trabajos que no puedan ser realizados vuelven a la lista de necesidades inicial a la espera de una nueva evaluación.

Nota: En el caso de que se estén evaluando actividades de mantenimiento bajo condición y se determine que no es candidato debido al análisis costo beneficio, este elemento pasa a ser un candidato para evaluar en las actividades de rehabilitación. De similar forma sucede si algún elemento no es candidato para actividades de rehabilitación, este pasaría a ser evaluado en las actividades de reemplazo.

5. Formulación de Proyectos: Una vez obtenidas las aprobaciones en las actividades de preservación, rehabilitación y reemplazo se debe proceder a la creación de proyectos. Estos son un conjunto de actividades de mantenimiento. Esta etapa consiste en agrupar las diferentes actividades al buscar el mayor beneficio. Se debe tomar en cuenta los costos indirectos que se producen al intervenir un puente. Es recomendable agrupar las actividades de acuerdo con la localización, duración de las mismas, similitudes de las actividades.

6. Evaluación del Proyecto: Se procede a evaluar si el proyecto propuesto es la mejor opción al tomar en cuenta los factores vistos en el paso anterior y cualquier otra política de la agencia. En caso de que no se apruebe se retornan las actividades a la espera de una nueva formulación de proyecto. De lo contrario, se procede a enviar este a un programa.
7. Proceso de Programación: Se procede a la etapa final que es la fijación de planificación para los programas. En esta etapa entra en juego el presupuesto disponible. Se recomienda manejar un sistema de prioridad de igual forma en esta etapa final. El listado debe obedecer a políticas previamente establecidas. En esta etapa, pueden ingresar programas de emergencia debido a alguna situación especial. Por ello, es importante la priorización, se procedería ingresar el nuevo programa y desplazar la lista hacia abajo. Finalmente, los programas serán agendados en los distintos años y periodos fiscales.

Monitoreo

El monitoreo constituye un proceso donde se evalúa el éxito de todos los aspectos del SGP. Federal Highway Administration (2020) brinda una guía en cuanto al monitoreo, la cual se presentará en esta sección.

Se debe contar con un plan que detalle qué aspectos se van a evaluar, frecuencia, encargados y comunicación. Es en esta etapa donde se busca la mejora continua relatada en capítulos anteriores. Con la evaluación se determina el estado de cumplimiento de las metas y objetivos. Posteriormente, se buscarán planes para eliminar la brecha existente entre los resultados esperados y los obtenidos. En la Figura 12. se muestra el proceso de monitoreo propuesto por Federal Highway Administration (2020).



Figura 12. Proceso de Monitoreo en un SGP.

Fuente: Elaboración propia a partir de Establishing a Bridge Preservation Program.

Elementos a Monitorear

Las agencias deben seleccionar que aspectos desean monitorear. Se debe analizar cuáles son las debilidades y fortalezas y priorizar la evaluación en torno a las falencias que se

detecten. Federal Highway Administration (2020) realiza una recomendación de aspectos mínimos que en breve se detallan.

Progreso del Proyecto

Los proyectos no se deben ejecutar y simplemente dejar a la libre, sino que es pertinente que se les dé seguimiento. Solo así se determinará si se está avanzando de acuerdo con lo requerido. En caso de que se encuentren fallas se podrán hacer cambios tempranos y evitar inconvenientes.

El uso de herramientas computacionales es un gran apoyo. Es común emplear softwares que relacionen las actividades, tiempo y uso de recursos. Frecuentemente, se usan gráficos y tableros que logren representar la realidad del proyecto frente a lo planteado.

Gastos del proyecto

Como su nombre lo indica, se trata de dar un seguimiento a los gastos del proyecto. Se sugiere que exista un control de costos, por lo que se propone el uso elementos de valor planeado, valor ganado, costo actual y uso de los indicadores de variación de cronograma y variación en el costo.

Progreso de los programas y gastos

Al alimentarse los programas de los proyectos, el monitoreo de los estos se alimenta de los resultados de ellos. Con ello, se puede tener un panorama más amplio de lo que se encuentra en ejecución. Con este seguimiento se puede contar en el futuro con datos históricos que ayuden en futuras decisiones, creación de presupuestos y la posible ejecución del trabajo en espera.

Finalización del Trabajo

Una buena práctica es la evaluación del trabajo terminado. Para ello, se puede manejar un sistema de informes una vez que se completen las distintas labores de mantenimiento. De esta forma, se asegura que se cumplió con las tareas planteadas y se completó el

alcance de la misma. Sumado a ello es un espacio para obtener retroalimentación para futuras tareas y proyectos. Se recomienda que estos informes sean simples para que se identifique claramente, la finalización del trabajo. También se aconseja que se tenga un formato establecido para estos.

Medidas de desempeño

Anteriormente, se estudiaron las medidas de desempeño y se brindaron ejemplos de estas. El monitoreo de las medidas de desempeño ayudará a determinar el estado de cumplimiento de los objetivos. Este puede ser un indicador de si plantearon objetivos realistas y evidenciará falencias en la ejecución. Emplear tableros y gráficos es usual para comunicar el cumplimiento de las medidas de desempeño.

Análisis de la brecha de objetivos

Este elemento de monitoreo trabaja de la mano con el elemento anterior. Las medidas de desempeño evidencian el estado de cumplimiento de los objetivos. Cuando estos no se cumplen existe una brecha entre lo planificado y el resultado. Se debe proceder con la identificación de la causa raíz. Posteriormente, ajustes en el SGP serán necesarios para reducir la brecha. Por lo que una buena práctica es monitorear la evolución de la brecha, que esta se acorte es un buen indicador de que los ajustes realizados fueron positivos.

Comunicación de Resultados

La comunicación efectiva entre los interesados es importante. Al existir muchos involucrados puede suceder que la información no llegue a quien corresponda. El uso de encuestas, reportes y evaluaciones pueden ayudar a indicar el éxito en la comunicación.

Frecuencia

Una vez seleccionados los elementos por monitorear hay que definir la frecuencia para dar un seguimiento. Los periodos deben de ser acorde con la periodicidad que cada elemento pueda arrojar resultados. Federal Highway Administration (2020) sugiere la periodicidad

para los elementos propuestos anteriormente. Estos intervalos no son absolutos, sino que es de libre escogencia por parte de las agencias. En seguida, se señala la propuesta:

- Progreso del Proyecto – Semanal.
- Gastos del proyecto – Semanal.
- Progreso de los programas y gastos – Mensual.
- Finalización del Trabajo – Mensual.
- Medidas de desempeño – Mensual.
- Análisis de la brecha de objetivos - Anual.
- Comunicación de Resultados – Según se necesite.

5.1. Roles y Responsabilidades

Se procede a establecer responsables para ejecutar el seguimiento de cada elemento. Se tiene que analizar el talento humano con que cada agencia cuenta y así estipular de manera clara los responsables. Federal Highway Administration (2020) propone lo siguiente:

- Progreso del Proyecto – Gerente de Proyecto.
- Gastos del proyecto – Gerente de Proyecto.
- Progreso de los programas y gastos – Gerente de Programa.
- Finalización del Trabajo – Gerente de Proyecto.
- Medidas de desempeño – Gerente de Programa.
- Análisis de la brecha de objetivos – Gerente de Programa.
- Comunicación de Resultados – Gerente de Programa.

2. Propuesta de valoración en la intervención de las obras de mantenimiento de Puentes.

Propuesta de valoración en la intervención de las obras de mantenimiento de Puentes.

GERARDO CAMPOS CHACÓN

2021

Introducción

El siguiente escrito se desprende del proyecto de graduación: Procedimiento para la gestión de las intervenciones de los puentes para el CONAVI. El mismo busca ser un apoyo adicional al documento mencionado para que el CONAVI pueda tomar decisiones en torno a la gestión del mantenimiento de puentes. Lo anterior, para la etapa temprana y desarrollo de un programa de mantenimiento de puentes.

En el año 1998 se da la creación del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y es este un ente que se deriva del Ministerio de Obras Públicas (MOPT). Entre las responsabilidades del mismo se tiene la conservación de la red vial nacional (RVN).

Con el pasar de los años ha habido un desarrollo en distintos frentes por parte de las autoridades, a pesar de esto a la fecha actual no existe un plan consolidado en la gestión de mantenimiento de puentes. El Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes, establece un modelo de gestión basado en las buenas prácticas y lo que dictan entes expertos en la materia, sin embargo, la correcta implementación requiere tiempo. Es por ello que a continuación, se plantean algunas sugerencias y su implementación quedará a criterio de expertos del CONAVI.

Estado de los Puentes de la RVN

Los puentes de la RVN se encuentran en un estado bastante deteriorado. De acuerdo con los datos del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) solo 3% de los puentes del inventario nacional se encuentran en una condición satisfactoria. Por su parte, el 37% se encuentra en condiciones deficientes y 60% en estado regular. Estos datos se presentan en la Figura 1.

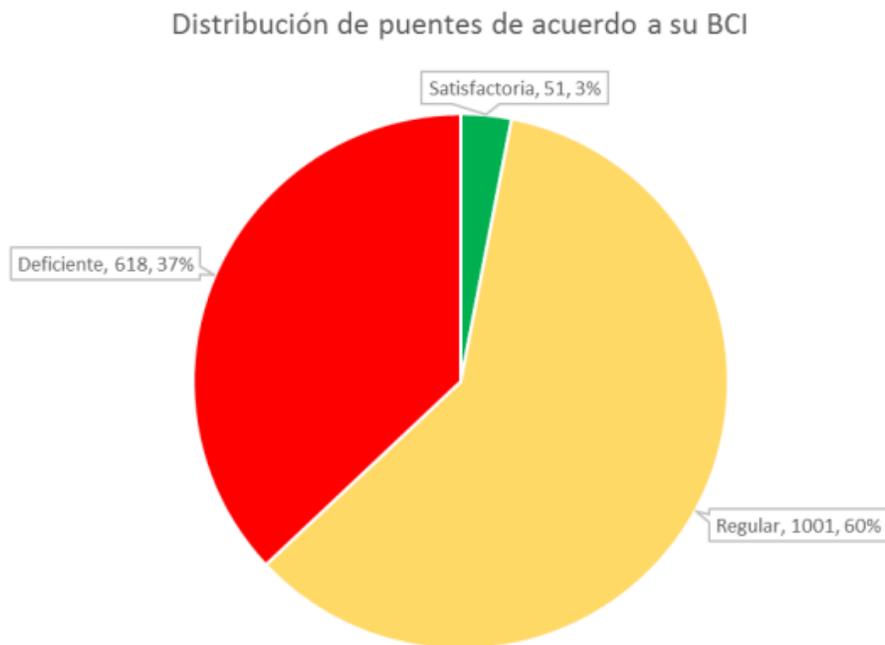


Figura 1. Estado de los puentes de la Red Vial Nacional
Fuente: Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes.

Entre las buenas prácticas que dictaminan la teoría se da el planteamiento de aplicar mantenimiento de preservación, obras de rehabilitación y reconstrucción de manera simultánea, y así dar una mayor prioridad a los trabajos de mantenimiento de preservación. De cumplirse lo anterior, se obtiene un beneficio a largo plazo, debido a que los puentes que se encuentra en condición satisfactoria retardan su deterioro, por lo que no se incurren en costos de mantenimiento altos.

Inventario Nacional

En la actualidad, el CONAVI tiene el conocimiento del estado de los puentes de la RVN, esto a partir de los datos recolectados por el PEEP en el levantamiento del inventario nacional. Se cuenta con la información general de cada puente así como los daños asociados a cada uno de ellos a nivel de elemento. Esta información se encuentra en el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP). Asimismo, se cuenta con una valoración de que va de 1 a 5 según sea el nivel de daño, en donde 5 es el nivel mayor daño. En el Cuadro 1. se presentan cada uno de los posibles daños inspeccionados.

Cuadro 2. Daños Evaluados en la inspección de Puentes del inventario nacional		
Componente	Elemento	Daños
Accesorios	Pavimento	Ondulación - Surcos - Agrietamiento - Baches - Sobrecapas de Asfalto
	Baranda Acero	Deformaciones - Oxidación - Corrosión - Faltante
	Baranda Concreto	Agrietamiento - Acero de Refuerzo - Faltante
	Junta de Expansión	Sonidos Extraños - Filtración de Aguas - Faltante o Deformación - Movimiento Vertical - Juntas
Superestructura	Losa	Grietas en una dirección - Grietas en dos direcciones - Descascaramiento - Acero de Refuerzo - Nidos de Piedra - Eflorescencia -
	Viga Principal de Acero	Oxidación - Corrosión - Deformación - Rotura de uniones - Rotura de Elementos
	Sistema De Arriostramiento	Oxidación - Corrosión - Deformación - Rotura de uniones - Rotura de Elementos
	Pintura	Decoloración - Ampollas - Descascaramiento -
	Viga Principal de Concreto	Grietas en una dirección - Grietas en dos direcciones - Descascaramiento - Acero de Refuerzo - Nidos de Piedra - Eflorescencia
	Viga Diafragma de Concreto	Grietas en una dirección - Grietas en dos direcciones - Descascaramiento - Acero de Refuerzo - Nidos de Piedra - Eflorescencia
Subestructura	Apoyos	Rotura de apoyos - Deformación extraña - Inclinación - Desplazamiento
	Pared Cabezal y Aletones (Bastión)	Grietas en una dirección - Grietas en dos direcciones - Descascaramiento - Acero de Refuerzo - Nidos de Piedra - Eflorescencia -
	Cuerpo Principal (Bastión)	Grietas en una dirección - Grietas en dos direcciones - Descascaramiento - Acero de Refuerzo - Nidos de Piedra - Eflorescencia - Pendientes en taludes - Inclinación - Socavación
	Martillo (Pila)	Grietas en una dirección - Grietas en dos direcciones - Descascaramiento - Acero de Refuerzo - Nidos de Piedra - Eflorescencia
	Cuerpo Principal (Pila)	Grietas en una dirección - Grietas en dos direcciones - Descascaramiento - Acero de Refuerzo - Nidos de Piedra - Eflorescencia -

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del PEEP.

Propuesta de Intervención

Como se mencionó, el CONAVI tiene el conocimiento del estado de los elementos de cada puente de la RVN, esto de acuerdo con una escala de valores. Para cada uno de ellos es

necesario determinar qué tipo de obras se realizarán. Por esta razón, en el Cuadro 2. se proponen las actividades asociadas de acuerdo con el nivel de daño que se presenta.

Cuadro 2. Propuesta de Intervención		
Calificación	Condición	Actividades a Realizar
1	Satisfactorio	Mantenimiento Rutinario
2	Aceptable	Mantenimiento Bajo Condición
3	Inaceptable	Rehabilitación
4	Deficiente	Rehabilitación / Reconstrucción
5	Deficiente	Reconstrucción

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte en el Cuadro 3. se dan una serie de recomendaciones para la implementación del plan de gestión basado en el Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes.

Cuadro 3. Recomendaciones para la implementación de un Plan de Gestión de Mantenimiento de Puentes para el CONAVI	
Num.	Detalle
1	Se debe de establecer como prioridad el direccionamiento del CONAVI en cuanto al mantenimiento de puentes. Para ello es necesario establecer objetivos, metas y medidas de desempeño y apegarse a ellas en cuanto a la práctica.
2	Se considera importante que las intervenciones de los puentes se realicen a nivel de elemento y no de manera global como puente. De esta forma se pueden atender una mayor cantidad de prioridades y se tiene una mejor inversión los recursos. De esta forma se garantiza el cumplimiento de metas y objetivos.
3	Si bien el ideal es atender el puente en su totalidad, se entiende su imposibilidad. Lo anterior debido a los altos costos y la gran cantidad de puentes. Se recomienda que los esfuerzos iniciales se den en los elementos y daños donde se puedan generar fallas estructurales críticas y fallas de servicio críticas.
4	Realizar un aumento escalonado de los recursos para las obras de preservación. Se debe de tomar en cuenta que a medida que se realicen obras de rehabilitación y construcción la cantidad de puentes en condiciones favorables aumentaría. Por lo que es pertinente realizar obras de preservación a los mismos dados los beneficios.

Fuente: Elaboración propia.

3. Descripción de fuentes consultadas para la elaboración del proyecto.

Fuentes Bibliográficas Consultadas			
Nombre	Referencia Bibliográfica	Resumen	Año
Transportation Asset Management Guide	AASHTO. (2002). Transportation Asset Management Guide. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Project 20-24(11)	Este documento busca ser una guía para las agencias de transporte en la correcta implementación de un programa de gestión de puentes. Se detallan los conceptos básicos y las prácticas que se deben implementar.	2002
Tranportation Asset Management Guide	AASHTO. (2011). Tranportation Asset Management Guide (Vol. 2): A Focus on Implementation. Washington, D.C.: AASHTO	Consiste en un complemento a la Guía de Gestión de Activos de Transporte publicada en 2002. Se explica en que consiste la filosofía gestión de activos viales y como se puede establecer un plan de gestión de activos viales en una agencia. Se logra profundizar y ampliar temas que no se abordaron el aguía del 2002. Además de ello se desarrollan temas adicionales a la mencionada. Adicional a ello se muestran casos de estudio donde se aplica el conocimiento adquirido	2002
Ley 7798	Asamblea Legislativa. (1998). Ley 7798, Creación del Consejo Nacional de Vialidad.	Ley que da pie a la creación del CONAVI.	1998
El sistema informático para la administración de estructuras de puentes de Costa Rica (SAEP): ¿Vamos en la dirección correcta?	Castillo Barahona, R., & Murillo Madrigal, J. A. (Marzo de 2014). El sistema informático para la administración de estructuras de puentes de Costa Rica (SAEP): ¿Vamos en la dirección correcta?. Boletín Técnico. Volumen 5 No. 52, Unidad de Puentes, PITRA, LanammeUCR. Recuperado de: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/871/52.pdf?sequence=1&isAllowed=y	Consiste en un análisis del funcionamiento y desarrollo del SAEP a la fecha de publicación del boletín. Se analizan otros sistemas de gestión de puentes internacionales y se compara el SAEP frente a ellos. Los autores mencionan que se debe de valorar la sustitución del SAEP por otro software que sea mejor.	2014
Bridge Management Fundamentals	Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Bridge Management Fundamentals. Online course.	Consiste en un curso online provisto por la FHWA donde se realiza un abordaje general sobre un sistema de gestión de puentes. Entre lo que desarrolla en torno a un sistema de gestión de puentes, se destacan: los componentes principales, estructura organizativa y buenas prácticas.	2020

Communication Strategies for Bridge Preservation	Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Communication Strategies for Bridge Preservation. Online course.	Consiste en un curso online provisto por la FHWA en el que se aborda la comunicación de las agencias de transporte con los clientes e interesados. Se explica la forma de abordar a la audiencia, forma correcta de comunicar y que mensaje dar para esta comunicación.	2020
Establishig a Bridge Preservation Program	Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Establishig a Bridge Preservation Program. Online course.	Consiste en un curso online provisto por la FHWA en cuanto a la forma de implementar un sistema de administración de puentes. Se aborda de manera sistemática la correcta aplicación del mismo. Se brindan ejemplos de distintas agencias estadounidenses en las distintas áreas abordadas por el curso.	2020
Maintaining a Resilient Infraestructure to Preserve Mobility	Federal Highway Administration. (2018). Maintaining a Resilient Infraestructure to Preserve Mobility. Recuperado de: https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/guide.pdf	Aborda los conceptos relativos a la preservación de puentes. Presenta un esquema amplio de cómo se deben de distribuir las actividades de mantenimiento, rehabilitación y remplazo en las estructuras de puentes. Se presenta también una guía para implementar un plan de gestión de mantenimiento de puentes.	2018
Cinco personas fallecen al caer puente entre Turrubares y Orotina	Fernández, Víctor (22 de octubre de 2009) Cinco personas fallecen al caer punete entre Turrubares y Orotina. La Nación. Recuperado de https://www.nacion.com/sucesos/cinco-personas-fallecen-al-caer-puente-entre-turrubares-y-orotina/T6E5PDJJSZEZ5OFRBWFBYQ3OTY/story/	Se detalla el colapso de un puente sobre el Río Tárcoles en el año 2009. Dejando en evidencia las consecuencias que se pueden tener sino se da el mantenimiento de puentes.	2009
Análisis de requerimientos para un sistema nacional de monitoreo de puentes	Garita, C., Ortiz, G., & Mora-Mora, J. (2018). Análisis de requerimientos para un sistema de monitoreo de puentes. Revista Tecnología en Marcha ,31(4), pág. 63-72. Recuperado de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3965/3548	Presenta un análisis comparativo entre distintos sistemas de monitoreo de puentes a nivel mundial. Asimismo, brinda un listado de actividades que deben estar en los mismos. Se presenta a su vez una valoración en nivel de importancia en los requerimientos validado por expertos	2018

<p>The Study on Capacity Development in Bridge Rehabilitation Planning, Maintenance and Management base on 29 Bridges of National Highway Network in Costa Rica Japan International Cooperation Agency.</p>	<p>JICA. (2007). The Study on Capacity Development in Bridge Rehabilitation Planning, Maintenance and Management base on 29 Bridges of National Highway Network in Costa Rica Japan International Cooperation Agency.</p>	<p>Consiste en un documento elaborado por la agencia JIICA en conjunto con el MOPT. Se detalla un estudio por parte de los entes en el apoyo de la implementación de un sistema de administración de puentes. A su vez se realizó un diagnóstico de 10 puentes de la Red Vial Nacional de Costa Rica. A su vez se propuso un plan de mantenimiento y rehabilitación para el mismo. A su vez se hicieron recomendaciones para que el Costa Rica avanzara en el la administración de puentes.</p>	<p>2007</p>
<p>ANALISIS A NIVEL ESTRATEGICO DE LA SITUACION DE LA GESTION DE PUENTES DE LA RED VIAL NACIONAL EN COSTA RICA</p>	<p>LanammeUCR (2018). ANALISIS A NIVEL ESTRATEGICO DE LA SITUACION DE LA GESTION DE PUENTES DE LA RED VIAL NACIONAL EN COSTA RICA (Informe: LM-PI-AT-086-18). Recuperado de: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1418/Informe%20FINAL%20LM-PI-AT-86-18_ff_jd_ws%20MCH_PAB_LL.pdf?sequence=1&isAllowed=y</p>	<p>Consiste en la auditoría realizada por el LanammeUCR a la gestión de puentes desarrollada por el CONAVI. Se realiza una breve reseña histórica del desarrollo de la materia en Costa Rica. Posteriormente, realiza un análisis del grado de madurez de la gestión de activos de transporte. Además, se analiza el plan de ejecución de mantenimiento actual a la fecha por parte del CONAVI. Se concluyó que en el grado de madurez el país se encuentra en un nivel 2 de 5. En cuanto al plan de acción del CONAVI se determinó que no existe una clara estrategia por parte del mismo. Además, se determinó que el CONAVI se ha brincado etapas iniciales para establecer un programa de mantenimiento de puentes.</p>	<p>2018</p>
<p>Lineamiento para Mantenimiento de Puentes</p>	<p>MOPT. (2007). Lineamiento para Mantenimiento de Puentes.</p>	<p>Es una obra desarrollada por el MOPT que brinda una referencia sobre aspectos del mantenimiento de puentes. Entre el abordaje de sus capítulos destaca los sistemas de administración de puentes, detección de deterioro, inspección y priorización de puentes.</p>	<p>2007</p>
<p>Manual de Inspección de Puentes</p>	<p>MOPT. (Enero de 2007). Manual de Inspección de Puentes. Recuperado de https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf963e8d8b31540a79/manual_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES</p>	<p>Este es un Manual desarrollado por el MOPT en cooperación con la agencia JIICA. En este se describen los distintos componentes de los puentes y se realiza un abordaje de los procedimientos de la inspección de puentes en Costa Rica. Se detalla la información del inventario e inspección. Así como la forma de recolectarla.</p>	<p>2007</p>
<p>eBridge: Predicción remota de falla en puentes</p>	<p>Ortiz, G. (Setiembre de 2012). eBridge: Predicción remota de falla en puentes. Recuperado de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5149</p>	<p>En este artículo se detalla el inicio, desarrollo y direccionamiento futuro del programa ebridge en Costa Rica. Se detalla los aportes en investigación que busca el programa para el país.</p>	<p>2012</p>

CONTRATO TEC- CONAVI	Tecnológico de Costa Rica. (2013). CONTRATO TEC-CONAVI. Recuperado de: https://www.tec.ac.cr/contrato-conavi-tec	Se detalla sobre la información pertinente al contrato desarrollado entre el CONAVI y el Tecnológico de Costa Rica. Se mencionan las actividades que se contemplan en el contrato.	2013
Resultados de eBridge son analizados en la Asamblea Legislativa	Umaña, J. (8 de Febrero de 2019). Resultados de eBridge son analizados en la Asamblea Legislativa. Obtenido de Hoy en el TEC: https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/02/08/resultados-ebridge-son-analizados-asamblea-legislativa	Nota en la que se habla del resultado del levantamiento del inventario nacional de puentes producto del contrato entre el CONAVI y el Tecnológico de Costa Rica.	2019
Manual para el mantenimiento de puentes en Costa Rica	Winiker Pérez, T. F. (Junio de 2019) Manual para el mantenimiento de puentes de Costa Rica. Proyecto Final de graduación para optar por el título de Licenciatura de Ingeniería en Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción. Tecnológico de Costa Rica	Se recopilan los daños más comunes que se encuentran en el inventario nacional de puentes. Asimismo, se plantean procedimientos de mantenimiento para los 16 daños más comunes presentes en los puentes del inventario nacional de puentes de Costa Rica.	2019

4. Manual de Gestión de Mantenimiento de Puentes.

Manual para la Gestión de Mantenimiento de Puentes

GERARDO CAMPOS CHACÓN

2021

Contenido

Introducción	2
Generalidades	3
Objetivo	3
Alcance	3
Definiciones	4
Responsables	8
Paso 1. Capacitación de encargados principales	10
Paso 2. Estudio Previo	11
Paso 3. Definición de Metas.....	18
Paso 4. Definición de Objetivos	19
Paso 5. Definición de Medidas de Rendimiento	20
Paso 6. Definición de Personal	21
Paso 7. Definir Roles y Responsabilidades	23
Paso 8. Capacitación de personal	24
Paso 9. Definir Canales de Comunicación	25
Paso 10. Escogencia de una herramienta computacional	26
Paso 11. Establecer Sistema de Priorización	27
Paso 12. Creación de un Inventario de Puentes	28
Paso 13. Creación de un Catálogo de Daños	30
Paso 14. Definir Procedimiento de Inspección	31
Paso 15. Crear un Manual de Mantenimiento	32
Paso 16. Estimación de Costos de Mantenimiento	33
Paso 17. Proceso de Planeación y Programación	34
Paso 18. Monitoreo de Plan de Trabajo	38
Paso 19. Reinicio de ciclo de gestión	41
Bibliografía	43

Introducción

Con el paso de los años ha surgido la necesidad de profundizar en el campo de la gestión de los activos de transporte. En este caso los puentes, protagonistas de este manual, juegan un papel fundamental en el desarrollo de cada nación. Ya que la inoperancia de uno podría derivar en grandes pérdidas económicas. “Los puentes son quizás el componente más importante de la infraestructura vial, debido a que se convierten en el principal cuello de botella en cuanto a capacidad de carga y funcionalidad de tráfico, y en caso de colapso, la ruta completa queda fuera de operación. Además, típicamente representan el componente más caro por metro lineal en la construcción de carreteras.” (Garita, Ortiz & Mora-Mora, 2018, p.65).

Con el paso de los años ha sido necesario ahondar en el tema de mantenimiento de puentes. Como respuesta de lo anterior, el siguiente Manual busca ser una guía en la implementación de un plan de gestión de mantenimiento de puentes y así seguir los principios de buenas prácticas.

Generalidades

Objetivo

Ser una guía para la implementación de un plan de gestión de mantenimiento de puentes para entidades que deseen implementar uno al tomar en cuenta buenas prácticas de gestión.

Alcance

El siguiente escrito consiste en una guía para la implementación de un Plan de Gestión de Mantenimiento de Puentes. El mismo resume una propuesta de pasos para seguir los principios de buena práctica para la implementación de un plan de gestión de puentes. Este no es de aplicación de carácter legal y queda a criterio y responsabilidad del encargado su implementación.

Definiciones

En la presente sección se brinda la definición de los conceptos más importantes en torno al mantenimiento de puentes. Siendo esta una fuente de consulta para el usuario en caso de requerirlo. Si bien estos conceptos son abordados a lo largo del manual, se recomienda que el lector los lea antes de incursionar con el demás material.

- **Agencia:** Para efectos de este Manual agencia es toda aquella entidad sea estatal o de capital privado, que se dedique al mantenimiento de puentes.
- **Directivos:** Para efectos del manual, entiéndase por directivos como aquellos actores que son la cabeza de la agencia. En el caso de ser una agencia de capital privado, son aquellos que aportan el capital y Junta Directiva en el caso de que exista esta. Cuando la agencia es un ente público, los directivos son aquellos que están a la cabeza de la agencia, pero que no están involucrados directamente en la ejecución de labores, tales como ministros y alcaldes.
- **Encargados Principales:** Son aquellos actores que están a la cabeza del plan de gestión de mantenimiento de puentes que se encuentran directamente ligados al plan de gestión de mantenimiento de puentes.
- **Gestión de Activos de Transporte:** La gestión de activos de transporte representa un enfoque estratégico para gestionar los activos de infraestructura de transporte. Se centra en los procesos comerciales del Departamento de Transporte (DOT) para la asignación y utilización de recursos con el objetivo de una mejor toma de decisiones basada en información de calidad y objetivos bien definidos. (AASHTO, 2002).
- **Inventario:** Conjunto de información general de cada uno de los puentes que la agencia va a proveer mantenimiento.

- **Mantenimiento:** Según la Federal Highway Administration (2018) se define como todo aquel trabajo que se realiza para mantener la funcionalidad del sistema de transporte o bien aquellos que se da en respuesta a eventos específicos.
- **Mantenimiento Bajo Condición:** Federal Highway Administration (2018) define el mantenimiento bajo condiciones como aquellas actividades que se dan en respuesta a efectos ya conocido.
- **Mantenimiento Cíclico:** Federal Highway Administration (2018) establece que son actividades de mantenimiento que se desarrollan en momentos ya especificados, para preservar y retrasar el deterioro de los componentes. Detalla a su vez que la frecuencia de las actividades responde al ambiente y las condiciones al que las estructuras están expuestas.
- **Mantenimiento Preventivo:** Federal Highway Administration (2018) especifica que el mantenimiento preventivo es una estrategia, para extender la vida de servicio de los puentes y así retardar el deterioro, evitar rehabilitación y reemplazos.
- **Mantenimiento de Rutina:** Federal Highway Administration (2018) menciona que es el mantenimiento que se da en respuesta a eventos, temporadas, actividades, entre otros.
- **Medidas de Rendimiento:** De acuerdo con Federal Highway Administration (2020) las medidas de desempeño son los pasos que determinan el estado de cumplimiento de los objetivos.

- Metas: De acuerdo con Federal Highway Administration (2020) las metas son los resultados que las agencias esperan tener dentro de su gestión. Difieren de los objetivos en que no son tan estructurados.
- Monitoreo: De acuerdo con Federal Highway (2020) el monitoreo consiste en un proceso donde se evalúa la efectividad de todos los aspectos del programa.
- Objetivos: De acuerdo con Federal Highway Administration (2020) los objetivos son acciones determinadas a corto plazo. Estas se encuentran bien delimitadas y deben de ser medibles. Pueden incluir límites de fechas y presupuesto.
- Programa: Conjunto de proyectos.
- Proyecto: Conjunto de actividades de mantenimiento, estratégicamente agrupadas.
- Reemplazo: Federal Highway Administration (2018) hace referencia a que son aquellas actividades en las que se reemplaza un puente ya existente mediante obras de construcción que se dan en el mismo lugar de este.
- Rehabilitación: Federal Highway Administration (2018) determina la rehabilitación como las actividades necesarias para restaurar la integridad estructural del puente, así como el trabajo para corregir defectos de seguridad importantes.
- Vida de Diseño: Federal Highway Administration (2018) define la vida de diseño como el periodo en el que se espera que los componentes, elementos o el puente mismo, cumpla las funciones para las que se diseñó mientras se mantienen los estándares de diseño, construcción y mantenimiento.

- Vida de Servicio: Federal Highway Administration (2018) determina que es el tiempo en el que los componentes, elementos o el puente brinda la función deseada y permanece en servicio con las adecuadas actividades de servicio. Asimismo, se añade que la vida de servicio se puede extender con actividades de preservación y mantenimiento bajo condición.

Responsables

En el Cuadro 1. se especifican quiénes son los encargados de llevar a cabo cada uno de los pasos que se especifican en el presente Manual. Se destaca que es necesario que los directivos y encargados principales del proyecto se involucren activamente en cada paso. Lo anterior, no de forma que trabajen en cada una de las actividades, sino que den un seguimiento adecuado a cada una de ellas.

Cuadro 1. Responsables dentro del Plan de Gestión de Mantenimiento de Puentes	
Detalle	Encargados
Paso 1. Capacitación de encargados principales	Directivos, encargados principales
Paso 2. Estudio previo	Directivos, encargados principales y/o encargados de departamento
Paso 3. Definición de metas	Directivos y encargados principales
Paso 4. Definición de Objetivos	Directivos y encargados principales
Paso 5. Definición de medidas de rendimiento	Encargados Principales
Paso 6. Definición de personal	Encargados Principales
Paso 7. Definir roles y responsabilidades	Encargados Principales y encargados de departamento
Paso 8. Capacitación del personal	Encargados Principales
Paso 9. Definir canales de comunicación	Encargados Principales y encargados de departamento
Paso 10. Escogencia de una herramienta computacional	Directivos y encargados principales
Paso 11. Establecer sistema de priorización	Encargados Principales
Paso 12. Creación de un inventario de puentes	Departamento de Información
Paso 13. Creación de un catálogo de daños	Departamento de Información
Paso 14. Definir procedimiento de inspección	Departamento de Información
Paso 15. Crear manual de mantenimiento	Departamento de Información
Paso 16. Estimación de costos de mantenimiento	Departamento de Información

Paso 17. Proceso de planeación y programación	departamento de planeación, Departamento de preservación, Departamento de rehabilitación y Departamento de reemplazo.
Paso 18. Monitoreo de trabajo	Encargados de departamento
Paso 19. Reinicio de gestión	Todas las partes según aplique

Fuente: Elaboración propia.

Paso 1. Capacitación de encargados principales

Encargados: Directivos, encargados principales.

Antes de iniciar el Plan de Gestión de Mantenimiento de puentes es pertinente que los encargados principales tengan conocimiento en la gestión de activos de transporte y el mantenimiento de puentes. Se parte de los mismos debido a que son quienes tomarán las decisiones principales y quienes dan direccionamiento a la agencia. Es necesario también ya que son actores que supervisan el desarrollo del trabajo. Asimismo, son quienes toman las decisiones principales en caso de que se deban de realizar ajustes.

La capacitación de enfocarse en la gestión de activos de transporte es la filosofía de trabajo adecuada. Se destaca que no es necesario que los directivos tengan conocimiento pleno de cada detalle de la gestión de activos de transporte y mantenimiento de puentes debido al trabajo que desarrollan. Sin embargo, si es necesario que los encargados principales si tengan profundo conocimiento en la materia.

Paso 2. Estudio Previo

Encargados: Directivos, encargados principales y encargados de Departamento.

Así como en muchos proyectos es necesario iniciar con un estudio previo, en este caso no es la excepción. En un estudio previo se puede analizar y visualizar que se ha hecho que se está haciendo y que proyecciones se tienen a futuro.

Se destaca que este estudio debe de realizarse indefinidamente si la agencia se desea iniciar en la materia o ya ha desarrollado en actividades en la materia. Como se observa los encargados pueden ser muy variados y esto se debe a lo anterior.

En caso de que la agencia ya se encuentre trabajando, es necesario un involucramiento de los actores principales por lo que se propone que sean los encargados de departamento.

Seguidamente, se proponen aspectos mínimos por analizar y la importancia de su estudio. Cabe destacar que cada agencia tiene diferentes estructuras por lo que es necesario que sus directivos analicen que aspectos adicionales se consideren necesarios en un estudio previo a la implementación de un plan de gestión de mantenimiento de puentes. Asimismo, como se evidenció anteriormente, pueden existir distintas agencias, por lo que puede que los siguientes aspectos no apliquen para todas las agencias.

Trabajo Desarrollado: El trabajo desarrollado consiste en todo aquello que la agencia haya realizado en los últimos años, se propone que sea un resumen de las actividades de los últimos 5 años.

Cuando una agencia ya se encuentra trabajando es necesario que el estudio se realice desde dos ópticas, trabajo previo realizado por la agencia y trabajo previo desempeñado por actores externos en la materia que pueda ser de insumo para el plan de gestión.

Si en contraparte la agencia desea iniciarse en el campo el estudio previo debe de enfocarse en lo que otros actores han desarrollado en materia de mantenimiento de puentes. Solamente se debe de seleccionar actores cercanos

dando prioridad a actores con semejanza a la propia agencia. Lo anterior, hace referencia a que si una municipalidad desea iniciarse investigue primeramente lo que otras municipalidades han desarrollado al ser de la misma naturaleza. Además, se puede tomar en cuenta lo que actores gubernamentales han desarrollado debido a que son de la misma área. Si la agencia es un ente gubernamental puede investigar sobre otros entes gubernamentales de países de referencia en mantenimiento de puentes y países cercanos a su zona geográfica. Cuando la agencia es de carácter privado, el análisis debe enfocarse en otros actores privados y trabajo desarrollado por otros entes en el país donde se vaya a laborar.

Existencia de Metas y Objetivos: Se debe verificar la existencia o no de metas y objetivos. Además de ello, verificar si estos se fundamentan en lo que la teoría indica que deben ser.

Talento Humano: En el caso de que la agencia ya esté iniciada es necesario analizar con que talento humano se cuenta y verificar si está capacitado para el trabajo que de previo tenía asignado. Cuando la agencia desea iniciarse debe investigar cuál es el personal con el que debe contar de acuerdo con la naturaleza, tamaño y alcance de la agencia. Se puede tener de guía las áreas de trabajo que este Manual dicta y agencias similares.

Cumplimiento del Trabajo: Este aspecto aplica principalmente, para agencias ya iniciadas. Se debe verificar primero las metas y objetivos de la agencia dentro de un periodo meta en el caso de que aplique. Además, verificar el cumplimiento de las obras propuestas y desarrolladas dentro del presupuesto y tiempo especificados de previo.

Diagnóstico de buenas prácticas: Este aspecto aplica solamente para agencias ya iniciadas. Consiste en desarrollar un resumen de buenas prácticas y verificar el cumplimiento o no de estas. De manera que se tenga un indicador de la calidad en el trabajo desarrollado. Se deben seleccionar aquellas buenas prácticas que apliquen a la naturaleza de la agencia. En el Cuadro 2. se brinda una guía de diagnóstico.

Cuadro 2. Diagnóstico de Buenas Prácticas		
Núm.	Detalle	Estado de Cumplimiento
1	Establecer objetivos, metas y medidas de rendimiento. Asimismo, se debe tener claro las diferencias entre los mismos. Las metas buscan alcanzar logros a largo plazo, mientras que los objetivos son acciones a corto plazo para lograr resultados. Estas son delimitadas por tiempo y presupuesto. Se establece que los objetivos son medibles a diferencia de las metas que son un ideal. Las medidas de rendimiento son los pasos que verifican el cumplimiento de los objetivos propuestos.	
2	Realizar un estudio de antecedentes previo a la fijación de objetivos, metas y medidas rendimiento. Posterior a ello, se desarrollan y aplican los mismos. Finalmente, se estudia su efectividad y se vuelve al primer paso de estudio de antecedentes. De esta forma, se establece un ciclo continuo.	
3	Las medidas de desempeño deben girar en torno a: Condición del puente, trabajo acumulado, protección a eventos extremos y minimización de costos.	
4	Identificar los puentes que ingresan en el programa de preservación de puentes. Asimismo, se debe conocer el estado de los componentes de los puentes participantes.	
5	Elaborar un listado de actividades de preservación por desarrollar, sean actividades cíclicas y obras de mantenimiento bajo condición. De preferencia, se debe tomar en cuenta actividades que pueden beneficiar al puente en varios frentes.	
6	Tener un inventario de puentes actualizado que sea realizado por personal calificado. Se recomienda garantizar inspecciones periódicas de los puentes y que obtengan datos del estado que los elementos del puente.	
7	Determinar niveles de importancia entre los componentes del puente. Entre lo que más debe destacar se tiene: losas, barandas, superestructura, apoyos, subestructura y alcantarillas. En un segundo nivel, se tienen juntas de expansión, accesos de aproximación, superficie de rodamiento y sistemas de protección.	

8	Se recomienda que las evaluaciones sean a nivel de elemento. De esta forma se puede ser más objetivo en las obras de mantenimiento que se pueden realizar y programar de mejor forma las obras de mantenimiento cíclico.	
9	Tener en la información del inventario el promedio de flujo diario de los vehículos, Geometría y localización.	
10	Generación de datos que vayan en 4 ejes: inventario, estado de los elementos, actividades de preservación y el costo asociado a las actividades. Con ellas se realiza un mejor análisis y se procede a un plan de acción.	
11	Determinar reglas que especifiquen cuándo realizar actividades de mantenimiento cíclico y bajo condición. Se pueden fijar por intervalos o por condición de los elementos según aplique.	
12	Delimitar el nivel de acción del programa de mantenimiento preservativo. De acuerdo con el nivel de daño de los elementos de cada puente se clasifican en diferentes programas, sea mantenimiento preventivo, rehabilitación o reemplazo.	
13	Contar con un sistema de gestión de puentes en el que toda la información recopilada se almacene en este. Esto ayudará a un mejor análisis, programación y toma de decisiones, especialmente en grandes redes de puentes. Entre las funciones primordiales esperadas se tiene el almacenamiento de la información de los puentes de la red, análisis costo beneficio y análisis de deterioro.	
14	Consideración de las condiciones climatológicas en la programación según sea el caso. Hay momentos del año donde no se pueden realizar todas las actividades de mantenimiento.	
15	Coordinar de la forma más ajustada las actividades de mantenimiento preventivo y rehabilitación, de forma que las compras y contrataciones para distintas actividades se hagan juntas.	
16	Realizar presupuestos anuales, que se basen en necesidades o datos históricos. Para la reasignación de presupuesto se debe de tomar en cuenta los cambios en gastos, inflación y cambios en los costos constructivos.	

17	Manejar niveles de priorización para las actividades de mantenimiento.	
18	Hacer una distinción entre zonas rurales y urbanas.	
19	La asignación de recursos depende de varios factores entre los que se tiene: decisiones a nivel gerencial, objetivos específicos, proyectos ya comprometidos, alcance de desempeño objetivo, tiempo para alcanzar objetivos planteados, fondos disponibles para alcanzar objetivos planteados, órdenes de carácter legislativo y estimaciones y cálculos realizados que respalden decisiones. Por lo que se debe manejar un nivel de prioridad de estos.	
20	Tener distintos horizontes de planificación, uno para cada una de las actividades que se contemplan en el plan de gestión. Estos varían de acuerdo con las actividades que se desean programar.	
21	Crear proyectos de trabajo en el que se mejoren corredores viales. Esta práctica es más rentable en costo y tiempo.	
22	Priorizar las actividades que tengan un mayor beneficio frente al costo. Estos datos provienen de un análisis costo beneficio arrojado por un Sistema de Gestión de Puentes.	
23	Manejar un ranking de prioridad para los proyectos establecidos en cada año. Esto se desprende de las prioridades y necesidades que el ente maneje. De esta forma, en el caso que se tenga que realizar labores de emergencia se sustituye el proyecto que tenga menor ranking de prioridad para el año en curso. Posterior a ello el proyecto desplazado se mueve al plan del siguiente año con una prioridad mayor a los ya establecidos.	
24	Establecer un sistema de monitoreo del plan de gestión. Este debe ser específico en cuales actividades serán, como se van a realizar, con qué frecuencia y quién será el encargado. De esta forma, se puede medir y ajustar el plan para que se mejore y alcancen los objetivos propuestos.	
25	Monitorear como mínimo: progreso del proyecto, gastos del proyecto, progreso y gastos del programa, finalización del trabajo, medidas de desempeño, análisis de brecha de objetivos y comunicación de resultados.	

26	Establecer una frecuencia de monitoreo para cada una de las actividades planteadas por la organización. Como recomendación para las actividades mostradas en el punto anterior se tiene: progreso y gasto del proyecto, semanalmente; progreso y gasto del programa, mensualmente; medidas de rendimiento y análisis de brecha de objetivos anualmente. Finalmente, la comunicación de resultados por convenir por la agencia.	
27	Asignar responsables para cada actividad de desempeño. Se recomienda que para un Gerente de Proyecto se encargue del progreso del proyecto, gastos de proyecto y finalización de trabajo. Por su parte un gerente de programa se encargará del progreso del programa, medidas de desempeño, análisis de brecha de objetivos y comunicación de resultados.	
28	Realizar reuniones periódicas según cada proyecto lo requiera. De esta forma se da un seguimiento a los avances y se identifican problemas. Así, se reestructura el plan de trabajo y se realizan los ajustes necesarios para cumplir con lo planteado inicialmente.	
29	Llevar un control detallado del proyecto en marcha. Es importante que el responsable conozca los objetivos y talento humano con sus respectivas responsabilidades.	
30	Supervisar los proyectos desde el punto de vista de uso de recursos, progreso y plan de trabajo de manera conjunta. Se tiene como gran ayuda herramientas computacionales que permiten llevar el control cruzado.	
31	Tener datos de valor planificado, valor ganado, costo real, variación de cronograma, variación de costos. Lo anterior para llevar un correcto control de costos y tiempo.	
32	Manejar informes de finalización de las actividades de trabajo. De esta forma se logrará supervisar el trabajo realizado y se pueden tomar lecciones para implementar en otros proyectos.	
33	Contar con un proceso en el que se evalúe la brecha existente entre los objetivos planteados y lo logrado por el plan. Se debe evaluar todas las prácticas de preservación de puentes que se realicen. Posterior a ello, investigar cuales son las mejores prácticas de preservación para mejorar o cambiar las existentes. Seguidamente, se debe	

	identificar las brechas y colocarlas en orden de prioridad. Seguidamente, se debe planificar la manera de reducir las brechas de acuerdo con las prioridades y ejecutar lo estipulado. Finalmente se hace una revisión del plan de reducción de brechas y se repite el ciclo completo.	
34	Realizar informes en los que se muestren los resultados del Plan de Gestión de esta forma los jefes tienen conocimiento de los beneficios que se tienen con el programa.	
35	Desarrollar un plan de acción a largo plazo. Este plan debe de contemplar distintos escenarios de esta forma se determina la mejor estrategia para administrar los activos con los recursos que se tienen a disposición.	
36	Se deben dedicar fondos suficientes para soportar el programa de mantenimiento de puentes.	
37	Debe existir un compromiso por parte de los altos jefes en la implementación de un plan de gestión de puentes siguiendo buenas prácticas.	
38	Impregnar a toda la organización de la filosofía y su importancia de esta forma existe un interés y compromiso por parte del personal para el cumplimiento de lo planteado y buscar una mejora continua.	

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3. Definición de Metas

Encargados: Directivos y encargados principales.

Es pertinente que cada agencia cuente con un norte de trabajo. En este caso las metas son este primer aspecto que da esa orientación, es la filosofía en la cual se basa la agencia.

Las metas consisten en ser una serie de postulados que refleja la esencia del norte de trabajo de la agencia. Estos deben de ser determinados por los ejecutivos y encargados principales del plan de gestión de puentes debido a que son aquellos que conocen cuál puede ser el alcance de la agencia debido a los recursos disponibles.

Las metas pueden ser muy variadas, sin embargo, se debe seguir los siguientes aspectos:

- Son postulados que indican la filosofía de la agencia, el cual da un direccionamiento a las acciones de mantenimiento que se realizarán.
- Deben contemplar el mantenimiento preventivo de puentes dentro sí.
- Pueden fundamentarse en porcentajes y actividades de mantenimiento.
- No es necesario que sean medibles.
- Deben ser reales.

Paso 4. Definición de Objetivos

Encargados: Directivos y encargados principales.

El planteamiento de objetivos consiste en el siguiente paso del direccionamiento de las acciones por parte de las agencias. Al igual que el caso de las metas los directivos y encargados principales son quienes deben de definirlos. Lo anterior, debido a quienes son aquellos que tienen conocimiento de los recursos disponibles así como los responsables de tomar las decisiones principales.

Los objetivos son una serie de postulados que enfocan cuales serán las acciones a futuro que realizará la agencia. Brinda un panorama claro de cual será el enfoque de las actividades. Se destaca que los objetivos deben de ser medibles y realista de manera que se pueda verificar su cumplimiento. Por esta razón, los objetivos deben ser específicos.

Los objetivos entre agencias pueden ser muy variados debido a las necesidades que cada agencia tiene. Sin embargo, es necesario que el mantenimiento de preservación esté presente en uno o varios objetivos. A continuación, se propone una serie de pautas que se puede seguir:

- Pueden estar delimitados por tiempo y recursos disponibles.
- Pueden estar definidos por acciones concretas de mantenimiento.
- Pueden estar definidos por porcentajes en torno a alguna actividad o estado de los elementos.

Paso 5. Definición de Medidas de Rendimiento

Encargados: Encargados Principales.

La creación de medidas de rendimiento es un aspecto fundamental y necesario que ayuda a determinar el éxito y estado de la ejecución de la gestión de puentes. Estas deben ser definidas por los encargados principales de la manera que se busquen aquellas que sean más funcionales para la agencia.

Las medidas de rendimiento son mecanismos que determinan el cumplimiento de los objetivos propuestos en el paso anterior. Es por ello que se mencionó que los objetivos debían ser medibles. En resumidas cuentas las medidas de rendimiento son indicadores que evidencian el trabajo dentro de una agencia. Seguidamente, se proponen dos tipos de medidas de rendimiento que se consideran las más simples y significativas para efectos de rendición de cuentas y comunicación.

1. Medidas de rendimiento basadas en la condición: Consiste en determinar las medidas de rendimiento en torno al estado de la condición de los elementos de un puente o el activo de manera global. Cuando se realizan trabajos de mantenimiento se mejora el estado de los elementos. Por lo que con el paso del tiempo se evidencia una mejora en los activos.
2. Medidas de Rendimiento Basadas en el Trabajo Acumulado: El trabajo acumulado corresponde a las necesidades de mantenimiento dentro de una agencia. Por lo que a medida que se realizan actividades de mantenimiento la lista de necesidades disminuye, lo cual indica que la agencia invierte recursos y es efectiva en sus labores.

Paso 6. Definición de Personal

Encargados: Encargados Principales.

El siguiente gran paso en el direccionamiento es la definición de talento humano necesario para cada agencia. En esta instancia se debe realizar un análisis del personal necesitado, sea que la agencia esté iniciada o desee incursionar en el campo. En el primer caso mencionado los encargados principales deben verificar que cuenten con el personal necesario. En el segundo caso los encargados deben definir las personas necesitadas.

Se destaca que este aspecto varía de acuerdo con tamaño y naturaleza de las agencias. Si bien puede haber variaciones, debe existir una estructura mínima la cual se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Personal necesario para la gestión de mantenimiento de puentes.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la imagen anterior, no se especifica un número específico de personas, sino los departamentos mínimos que debe existir en la agencia. En cada departamento, se contempla las áreas mínimas de trabajo dentro de la gestión

de mantenimiento de puentes. El personal necesario para cada instancia debe ser definido por los encargados principales y debe responder a las necesidades de la agencia. Siendo las necesidades periodos de ejecución, urgencia de implementación, cantidad de activos a atender, entre otros. Se recomienda que dentro del departamento de ejecución existan tres subdepartamentos, uno encargado de la preservación, el siguiente de la rehabilitación y por último el de reemplazo.

Paso 7. Definir Roles y Responsabilidades

Encargados: Encargados Principales y encargados de departamento.

Una vez que definidas las estancias y el personal necesario para el comienzo de labores se debe especificar las funciones que primeramente tendrá cada departamento. De manera que no exista una mezcla de labores. En agencias de tipo gubernamental se debe verificar que este proceso no atente contra estatutos de carácter oficial. Por lo que será necesario velar por el cumplimiento de estas labores.

A lo interno de cada departamento, se deben establecer roles y responsabilidades dentro de cada equipo. De esta forma, se cumplirán con los objetivos internos del departamento. Se recomienda externar directamente, a cada trabajador cuáles son las funciones esperadas y dejarlo estipulado. Además, como buena práctica se recomienda establecer semanas típicas de trabajo. Esto hace referencia a crear cronogramas con base en trabajos semanales que determinen cómo, cuándo y dónde se deben realizar actividades de trabajo.

Paso 8. Capacitación de personal

Encargados: Encargados Principales.

El conocimiento es un pilar fundamental para que la gestión sea realizada de forma correcta. Es necesario que toda la organización trabaje bajo una misma filosofía y buenas prácticas. En ocasiones, las agencias trabajan bajo una misma línea de pensamiento, pero no necesariamente sea la más adecuada. Es por lo anterior, que es necesario que el personal se instruya, de esta forma se garantiza un trabajo fundamentado en los principios de buena práctica.

En este caso es necesario que todo personal conozca sobre la gestión de activos de transporte y sus buenas prácticas. Siendo la gestión de activos de transporte la ideología en la que se basa el trabajo.

En el paso de Estudio Previo se estudiaron los trabajos necesarios. Además, se identificó el talento humano que se tiene disponible. Por lo que se debe proceder a una capacitación más especializada acorde con los trabajos que cada quien desempeñará. Si bien es necesario tener personal capacitado es importante que cada quien tenga conocimiento de cuál debe ser el enfoque en la gestión de mantenimiento de puentes.

En Figura1. se mostró una serie de Departamentos que deben estar a lo interno de la agencia. En consecuencia a lo anterior, se tiene como mínimo capacitación en cada uno de ellos. Esta capacitación debe de ser más específica en torno a la labor que cada quien va a desarrollar. Además, se recomienda que en esta estancia se externe al personal cuáles son las metas, objetivos y medidas de desempeño que la agencia ha decidido tomar.

Paso 9. Definir Canales de Comunicación

Encargados: Encargados Principales y encargados de departamento.

Antes de adentrarse en labores más ligadas al mantenimiento es necesario garantizar una correcta comunicación a lo interno de la agencia. De esta forma, se pueden evitar errores producto de una mala comunicación y se mejora en la productividad en la agencia.

Las agencias deben definir canales específicos de comunicación para cada labor de manera que no exista una pérdida de información en el camino de entrega de un mensaje. Además, se tiene que tener formatos simples y entendibles para la mayoría cada vez que se realiza alguna labor. A continuación, se especifican formatos mínimos necesarios:

- Minutas de Reunión
- Presentaciones de datos
- Boletas de Inventario
- Boletas de Inspección
- Acciones de Mantenimiento
- Cronogramas de Trabajo
- Estimación de costos

Paso 10. Escogencia de una herramienta computacional

Encargados: Directivos y encargados principales.

La gran cantidad de datos que se deben procesar hace necesario el uso de una herramienta computacional que analice los datos que se generarán en los pasos siguientes. En este caso los encargados de principales deben de buscar aquella herramienta que se adecúe más a sus necesidades y recursos, también que cumpla con los estándares mínimos de calidad. A su vez, se recomienda el involucramiento de los directivos en esta sección ya que la adquisición de una herramienta de estas es una erogación alta de dinero.

Existen agencias pequeñas como municipalidades que no cuentan con el presupuesto necesario para la adquisición. Es por ello, que se destaca que esto no implica un freno en la implementación de un sistema de gestión de puentes. Por lo que se recomienda seguir con los pasos posteriores del manual haciendo obvia al presente paso.

Paso 11. Establecer Sistema de Priorización

Encargados: Encargados principales.

Es necesario mantener un sistema de priorización de las actividades debido a varias razones. La primera de ellas es que se busca que los trabajos de mantenimiento deben obedecer a un orden establecido y no a decisiones de uno o pocos miembros de la agencia. La segunda razón es que existen herramientas computacionales que pueden analizar la información y dar prioridad a ciertas variables que la agencia determine. Finalmente, se destaca que este aspecto es vital para aquellas agencias que no cuenten con una herramienta computacional, por lo que la programación de actividades se basará en este sistema de priorización. En seguida, se detallan aspectos que se deben analizar para la jerarquización:

- **Análisis Costo Beneficio:** Es necesario que exista un análisis costo beneficio que determine que las operaciones son rentables para la agencia.
- **Daños en Elementos Estructurales:** En los puentes existen elementos cuya función es de importancia para el funcionamiento del mismo. Ejemplo de ello, son los elementos estructurales cuya falla dejaría fuera de servicio el puente. Por lo cual estos elementos deben tener una prioridad mayor frente a otros. Además, entre los mismos elementos estructurales debe existir una prioridad de atención.
- **Daños que afectan el servicio:** Existen daños que si bien no atentan estructuralmente contra el activo sí, irrumpen en el servicio que brindan. Situación que puede provocar problemas al usuario y puede llegar a restringir el uso de la estructura.
- **Importancia de Vía.** Debe existir una jerarquización de las vías debido a la importancia para la red en la que se encuentran. Se debe recordar que los puentes son canales de comunicación entre dos sectores y su inexistencia genera problemas de comunicación, que depende de la vía y activo puede resultar sumamente costoso para una región específica.

Paso 12. Creación de un Inventario de Puentes

Encargados: Departamento de Información

En este paso se procede a la creación de un inventario de puentes. Siendo lo anterior, un registro de datos de cada uno de los puentes que la agencia tiene a cargo. Es necesario que la agencia tenga delimitado cuales son aquellos activos que tendrá a cargo antes de generar acciones correctivas para los mismos. El presente manual, basa su efectividad en la información de calidad y se comienza con el inventario de puentes.

Se destaca que este es un proceso extenso, pero necesario. A continuación, se propone información mínima necesaria para el inventario de puentes. Cabe destacar, que esta información puede ser más amplia y queda a la libre de la agencia qué aspectos desean recabar de más.

- **Identificación del Puente:** Se debe identificar el puente por algún código que la agencia defina, así como el río sobre el cuál está.
- **Ubicación del Puente:** Es necesario definir la ubicación del puente en provincia, cantones y distritos; o sus similares. Además, de ser posible su ubicación con coordenadas geográficas.
- **Elementos:** Se debe identificar cada uno de los componentes que tiene el puente. Se busca que sea de la forma más descriptiva posible. Por lo que se tendrán los siguientes aspectos como mínimo: bastiones, pilas, sistema de protección, apoyos, vigas, losa, sobrecapa de losa, juntas de expansión, drenajes, barandas, aceras y bordillo. Es importante que exista una forma de identificar cada uno de los mismos dentro de un sistema.
- **Dimensiones:** Recabar las dimensiones de los elementos mencionados anteriormente.
- **Materiales constructivos:** Identificar materiales de construcción de los elementos identificados.

- Señalización: Especificar la existencia de señalización en el puente. En caso de su existencia identificar cuál es la señalización existente, de manera que posteriormente, se pueda identificar la falta o no de esta.
- Flujo Vehicular: Contar con datos de tránsito vehicular promedio del puente, lo cual es un aspecto importante para la planeación de actividades.
- Vida de Diseño y Vida de Servicio: Contar con la vida de diseño y vida de servicio del puente.
- Datos Históricos: Recabar información histórica que puede ser de interés para el plan. Se destaca, contar con información de fallas e intervenciones previas en el activo.
- Registro Fotográfico: Se recomienda contar con un registro fotográfico del puente.
- Planos: Contar con los planos constructivos del puente de manera que puedan ser una fuente de consulta posteriormente, en caso de ser necesario.

Paso 13. Creación de un Catálogo de Daños

Encargados: Departamento de Información.

La agencia debe darse a la tarea de crear un catálogo de daños. Este consiste en crear un documento que contenga todos los posibles daños que se pueden presentar en los elementos de un puente.

Se recomienda que este catálogo sea lo más detallado posible, ya que existen variedad de daños. Las agencias pueden apoyarse en lo que otras entidades de renombre han desarrollado e investigado. El catálogo debe contener fotos de cómo debe lucir el daño. De preferencia una breve explicación, de los posibles orígenes que dieron pie al daño.

De contener la información anterior se tiene un punto de partida para el paso siguiente: "Proceso de inspección". Por lo que se podrá contar con la información necesaria de cuáles daños se deben registrar. Además, también se genera un aporte al paso de: "Crear un Manual de Mantenimiento". Teniendo una noción de cuáles son los daños, cómo lucen y su posible origen se pueden proponer mejores formas de mantenimiento.

Paso 14. Definir Procedimiento de Inspección

Encargados: Departamento de Información.

Es necesario establecer un proceso de inspección de puentes que debe ser documentado y de carácter oficial para la agencia. En el mismo, se debe establecer todas las pautas referentes básicas a la inspección de puentes. A continuación, se establece el contenido que debe tener un Manual de inspección:

- Información general
 - Tipos de inspecciones de puentes.
 - Cuándo se realizan las distintas inspecciones de puentes.
 - Escogencia de sistema de deterioro de daños.
- Información de inspección de puentes.
 - Competencias del inspector de puentes.
 - Equipo necesario para las inspecciones.
 - Procedimiento de inspección.
 - Daños por valorar.
 - Medición y registro de daños.
 - Procesos de asignación de grado de deterioro.
 - Llenado de formulario de inspección.
 - Fotografías de interés por documentar.
 - Aspectos de seguridad durante la inspección.
 - Consideraciones especiales.

Paso 15. Crear un Manual de Mantenimiento

Encargados: Departamento de Información.

Entiéndase por Manual de Mantenimiento un documento que estipule los trabajos de mantenimiento por realizar acorde con distintos daños presentados. En este manual se deben especificar los procesos necesarios para cada actividad de mantenimiento propuesta. Es imperioso que sea lo más detallado posible para que se eviten errores en los cálculos de costos.

Es recomendable que se proponga más de un tipo de tratamiento frente a un mismo daño ya que no siempre la misma opción aplica de igual forma para distintos casos. Además, es necesario que contenga fotos o esquemas, lista de materiales, equipo necesario y pasos por seguir detallados, para que los encargados de los programas de mantenimiento y ejecutores realicen su trabajo de una mejor manera

Paso 16. Estimación de Costos de Mantenimiento

Encargados: Departamento de información.

Se debe contar con un presupuesto actualizado de cada una de las actividades de mantenimiento que se dan en respuesta a los daños presentes en los elementos de un puente. En el paso anterior, se determinaron cuáles son dichas actividades de mantenimiento, por lo que se tiene una base de trabajo.

Es claro que es un trabajo arduo, pero necesario. De esta forma, se puede realizar una mejor programación de proyectos. Cuando se inicia este módulo de información se debe generar datos y partir de aquellas actividades a las cuales la agencia ha decidido darle prioridad. Estas pueden provenir de los objetivos directamente o de comunicación directa por parte de los encargados. Seguidamente, se continúa con aquellas que son más propensas a presentarse en los elementos. Finalmente, se contemplan aquellas menos comunes.

Se recomienda que este calculo de costos se realice con datos globales, de manera que se ajuste a cualquier elemento. También es importante recordar que se deben contemplar los costos operativos en dichas actividades. Se recalca que esta base de datos de permanecer constantemente actualizada, debido a las actualizaciones del Manual de Mantenimiento y de las variaciones de los costos en el mercado.

Paso 17. Proceso de Planeación y Programación

Encargados: Departamento de Planeación, Departamento de preservación, Departamento de rehabilitación y Departamento de reemplazo.

El proceso de planeación y programación consiste en aquel proceso donde se identifican aquellas necesidades de mantenimiento en los elementos de un puente y se procede a planear las acciones correctivas. Se entiende que por motivos de presupuesto y tiempo no se pueden ejecutar todas en simultáneo.

Es por lo anterior, que se propone un sistema de planeación y programación de obras y seguir una serie de pasos. Esta serie de pasos es un seguido de ideas que debe de ser adaptado a cada agencia. Primeramente, se tiene un sistema que aplica para actividades de mantenimiento bajo condición, rehabilitación y reemplazo. Posteriormente, se propone un sistema que aplica únicamente para actividades de mantenimiento rutinario y cíclico.

17.1. Planeamiento de Actividades de Mantenimiento Bajo Condición, Rehabilitación y Reemplazo

17.1.1. Determinación de necesidades: Se proceden a cuantificar todas las necesidades que tienen todos los activos, ya sea en términos de preservación, rehabilitación o reemplazo. Este paso corresponde a la etapa de evaluación de necesidades sin restricciones, por lo que se identifican todos los daños a nivel de elemento, que provienen de los datos de inspección. Estos se encuentran en la lista de necesidades. Es necesario mantener una lista de necesidades de acuerdo con el grado de intervención, es decir, mantenimiento bajo condición, rehabilitación y reemplazo. Estos datos proviene del levantamiento de daños.

17.1.2. Análisis costo beneficio: Se realiza un análisis costo beneficio de los las necesidades identificadas en el paso anterior. Estos datos provienen de la herramienta computacional seleccionada por la agencia. En caso de que la agencia no cuente con una, es necesario realizar un análisis de esta naturaleza de manera que se determine qué labores son beneficiosas para

la agencia. Si el análisis costo beneficio evidencia que existe un beneficio de mantenimiento, se coloca a la actividad en la lista de aprobación, es esta lista aquella estancia donde se encuentran todas las actividades que se pueden desarrollar. En caso contrario se envía nuevamente, a la lista de necesidades a la espera de una nueva valoración.

17.1.3. Comparación: Una vez que se evaluaron todas las necesidades bajo el análisis de costo beneficio, se determina con una lista de posibles candidatos para un proyecto o varios. Estos serán organizados de acuerdo con el mayor beneficio que aporten. En esta estancia también se toma en cuenta aquellos aspectos de priorización adicionales al costo beneficio propuesto en el Paso 11. De esta manera, se obtiene una jerarquización de las actividades dando prioridad a aquellas que así lo requieran.

17.1.4. Aprobación: Una vez obtenida la lista de aprobación y esta se encuentre jerarquizada en el paso anterior, se procede a aprobar las actividades de la lista para un proyecto. Esto se da de acuerdo con los recursos disponibles para el periodo de planificación. Los trabajos que no puedan ser realizados vuelven a la lista de necesidades inicial a la espera de una nueva evaluación.

17.1.5. Formulación de Proyectos: Esta estancia consiste en la creación de proyectos, son estos un conjunto de actividades por realizar. Este paso es delicado, ya que se requiere criterio de manera que se optimicen los recursos. Se debe tomar en cuenta como mínimo los siguientes aspectos:

- Naturaleza de Actividades: Se recomienda que la agrupación de proyectos se dé con actividades similares o iguales. De manera que los responsables del proyecto cuenten con una especialización del trabajo y dar un beneficio de tiempo y económico a la larga. Además genera que no se requiere equipo en exceso para el mismo proyecto.
- Complejidad de las actividades: Se busca que las actividades por desarrollar cuenten con un grado similar de complejidad. De manera que se pueda optimizar el talento humano disponible y no

se requiera de mano de obra muy especializada en varios proyectos.

- Ubicación geográfica: Se debe buscar que las actividades por realizar sean cercanas entre sí. De manera que se mejoren corredores viales que aportan un beneficio económico por temas de desplazamiento. Además, se busca tener condiciones similares en cada actividad por realizar.

17.1.6. Evaluación del Proyecto: Consiste en un paso de evaluación de cada uno de los proyectos propuestos. Esta valoración debe ser desarrollada por un comité en el caso de ser posible. De esta forma, se garantiza un cumplimiento de las políticas internas de la agencia y no se obedece al criterio y intereses de un solo individuo.

17.1.7. Proceso de Programación: Consiste en el proceso que se fijan fechas de ejecución de actividades y se ingresan a los programas. Se propone tener programas de preservación, rehabilitación y reemplazo; son dirigidos por los Departamentos con nombres iguales respectivamente. En esta etapa, entra en juego el presupuesto disponible. Se recomienda manejar un sistema de prioridad de igual forma en esta etapa final. El listado debe obedecer a políticas previamente establecidas. Justo en esta etapa de programación entran en juego aquellas actividades de emergencia. Donde estas actividades ingresan en el principio de la lista de prioridad y desplaza las demás. Finalmente, los programas serán agendados en los distintos años periodos fiscales.

17.2. Planeamiento de Actividades de Mantenimiento Rutinario y Cíclico

Este tipo de actividades conllevan una programación distinta y menos compleja debido a que son actividades que se dan en respuesta a eventos y se repiten indefinidamente de las circunstancias. Asimismo, es necesario que cuenten con un presupuesto independiente. De igual forma, se propone una serie de pasos similares a los dados en el punto 16.1. por lo que se resumen las ideas principales.

17.2.1. Identificación de necesidades: En este caso es necesario agrupar las necesidades igual que se vio de manera previa. En este caso todos los puentes recibirán actividades de mantenimiento rutinario en caso de que apliquen.

17.2.2. Formulación de Proyectos: De manera similar, se manejan proyectos al seguir las mismas directrices del paso 16.1.5.

17.2.3. Programación: Se fijan fechas de inicio y fin de actividades. También se deben fijar prioridades de acuerdo con las políticas que la agencia haya establecido. En esta etapa, entran actividades de mantenimiento rutinario que tengan prioridad debido al evento que las genera. De manera similar, desplaza a las actividades de acuerdo con el orden de prioridad hacia abajo.

Paso 18. Monitoreo de Plan de Trabajo

Encargados: Encargados de departamento.

Para una correcta ejecución es necesario que los encargados de Departamento monitoreen actividades clave dentro de su organización interna. De esta forma se puede trabajar bajo un estándar mínimo de calidad y se puede buscar la mejora de las actividades que se desempeñan.

Aquellas agencias que ya se encuentren iniciadas deben revisar aspectos en los que se detectó falencias en el estudio previo. Estos serán los puntos de partida a monitorear debido a que es un punto de mejora por parte de la agencia. Para lo cual se deben establecer mecanismos periódicos de monitoreo que evidencien el cumplimiento de las tareas. Esta periodicidad se establecerá a convenir por parte de los encargados de la agencia.

A continuación, se brinda una serie de aspectos por monitorear como mínimo:

- **Progreso del Proyecto**

Los proyectos no se deben ejecutar y simplemente dejar por libre, sino que es pertinente que se les dé seguimiento. Solo así se determinará si se está avanzando de acuerdo con lo requerido. En caso de que se encuentren fallas, se podrán hacer cambios tempranos y evitar inconvenientes.

El uso de herramientas computacionales es un gran apoyo. Es común emplear softwares que relacionen las actividades, tiempo y uso de recursos. Frecuentemente, se usan gráficos y tableros que logren representar la realidad del proyecto frente a lo planteado.

- **Gastos del proyecto**

Como su nombre lo indica, se trata de dar un seguimiento a los gastos del proyecto. Se sugiere que exista un control de costos, por lo que se propone el uso elementos de valor planeado, valor ganado, costo actual y uso de los indicadores de variación de cronograma y variación en el costo.

- **Progreso de los programas y gastos**

Al alimentarse los programas de los proyectos el monitoreo de los programas se alimenta de los resultados de los proyectos. Con ello se puede tener un panorama más amplio de lo que se encuentra en ejecución. Con este seguimiento se puede contar en el futuro con datos históricos que ayuden en futuras decisiones, creación de presupuestos y la posible ejecución del trabajo en espera.

- **Finalización del Trabajo**

Una buena práctica es la evaluación del trabajo terminado. Para ello se puede manejar un sistema de informes una vez que se completen las distintas labores de mantenimiento. De esta forma, se asegura que se cumplió con las tareas planteadas y se completó el alcance de la misma. Sumado a ello es un espacio para obtener retroalimentación para futuras tareas y proyectos. Se recomienda que estos informes sean simples, para que se identifique claramente la finalización del trabajo. También se aconseja, que se tenga un formato establecido para estos.

- **Medidas de desempeño**

Anteriormente, se estudiaron las medidas de desempeño y se brindaron ejemplos de estas. El monitoreo de las medidas de desempeño ayudará a determinar el estado de cumplimiento de los objetivos. Este puede ser un indicador de si plantearon objetivos realistas y evidenciará falencias en la ejecución. Emplear tableros y gráficos es usual para comunicar el cumplimiento de las medidas de desempeño.

- **Análisis de la brecha de objetivos**

Este elemento de monitoreo trabaja de la mano con el elemento anterior. Las medidas de desempeño evidencian el estado de cumplimiento de los objetivos. Cuando estos no se cumplen existe una brecha entre lo planificado y el resultado. Se debe de proceder con la identificación de la causa raíz. Posteriormente, ajustes en el SGP serán necesarios para reducir la brecha. Por lo que una buena práctica

es monitorear la evolución de la brecha que esta se acorte es un buen indicador de que los ajustes realizados fueron positivos.

- **Comunicación de Resultados**

La comunicación efectiva entre los interesados es importante. Al existir muchos involucrados puede suceder que la información no llegue a quien corresponda. El uso de encuestas, reportes y evaluaciones pueden ayudar a indicar el éxito en la comunicación.

Paso 19. Reinicio de ciclo de gestión

Encargados: Todas las partes según aplique.

El presente plan de gestión de mantenimiento de puentes consiste en un proceso cíclico. En otras palabras, cada uno de los pasos anteriores debe repetirse cada cierto periodo de tiempo. De esta forma, se busca una mejora continua y se realizan los ajustes necesarios en el camino. Al partir nuevamente, por medio de un estudio previo se puede analizar, cuál ha sido el desarrollo de la agencia en el lapso de investigación. De manera que se ejecuten acciones de mejora. En el Cuadro 3. se detalla cada uno de los pasos anteriores y de qué forma se debe enfocar cada uno de los anteriores.

Cuadro 3. Enfoque de Actividades de Reinicio de Gestión	
Paso	Enfoque
Paso 1. Capacitación de encargados principales	Capacitaciones en materia que se haya detectado importante para el plan de gestión
Paso 2. Estudio previo	Análisis del trabajo desarrollado
Paso 3. Definición de metas	Proponer nuevas metas
Paso 4. Definición de Objetivos	Proponer nuevos objetivos
Paso 5. Definición de medidas de rendimiento	Proponer nuevas medidas de rendimiento
Paso 6. Definición de personal	Valorar ausencia o exceso de personal
Paso 7. Definir roles y responsabilidades	Valoración de roles y responsabilidades vigentes
Paso 8. Capacitación del personal	Capacitaciones adicionales de interés para la agencia
Paso 9. Definir canales de comunicación	Mejora en los canales de comunicación establecidos
Paso 10. Escogencia de una herramienta computacional	Valoración de la herramienta computacional vigente o adquisición de una.
Paso 11. Establecer sistema de priorización	Valorar sistema vigente y aplicar mejoras si aplica.
Paso 12. Creación de un inventario de puentes	-
Paso 13. Creación de un catálogo de daños	Mejoras al catálogo de daños
Paso 14. Definir procedimiento de inspección	Mejoras al procedimiento de inspección

Paso 15. Crear manual de mantenimiento	Actualización al Manual de mantenimiento
Paso 16. Estimación de costos de mantenimiento	Actualización de costos
Paso 17. Proceso de planeación y programación	Mejoras al proceso
Paso 18. Monitoreo de trabajo	Continuación de monitoreo y aplicar nuevas mediciones en caso de que aplique
Paso 19. Reinicio de gestión	Reinicio

Bibliografía

AASHTO. (2011). Transportation Asset Management Guide (Vol. 2): A Focus on Implementation. Washington, D.C.: AASHTO

AASHTO. (2002). Transportation Asset Management Guide. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Project 20-24(11)

Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Bridge Management Fundamentals. Online course.

Federal Highway Administration. (2020). FHWA-NHI-130109A Establishing a Bridge Preservation Program. Online course.

Federal Highway Administration. (2018). *Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility*. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/guide.pdf>