

Frecuencia del mantenimiento de elementos estructurales de puentes colgantes de cinco toneladas en Morona-Santiago

*Maintenance frequency of structural elements of five tons suspension
bridges at Morona-Santiago*

- ¹ Juan Carlos Berrezueta Torres  <https://orcid.org/0000-0002-1763-024X>
Universidad Católica de Cuenca, Maestría en Construcciones con Mención en Administración de la
Construcción Sustentable, Cuenca, Ecuador
juan.berrezueta.67@est.ucacue.edu.ec
- ² Carlos Julio Calle Castro  <https://orcid.org/0000-0002-6891-0030>
Universidad Católica de Cuenca, Maestría en Construcciones con Mención en Administración de la
Construcción Sustentable, Cuenca, Ecuador
cjcallec@ucacue.edu.ec
- ³ Andrés Eduardo Cárdenas Sánchez  <https://orcid.org/0000-0003-3692-286X>
Universidad Católica de Cuenca, Carrera de Arquitectura, Cuenca, Ecuador,
acardenass@ucacue.edu

Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 07/12/2021

Revisado: 22/12/2021

Aceptado: 17/01/2022

Publicado: 05/04/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.1.193>

Cítese: Berrezueta Torres, J. C., Calle Castro, C. J., & Cárdenas Sánchez, A. E. (2022). Frecuencia del mantenimiento de elementos estructurales de puentes colgantes de cinco toneladas en Morona-Santiago. AlfaPublicaciones, 4(2.1), 45–61. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.1.193>

ALFA PUBLICACIONES, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras

claves: puentes colgantes, mantenimientos, perfiles estructurales, péndolas.

Keywords:

suspension bridge, maintenance, structural profiles, hangers.

Resumen

Introducción. Los puentes constituyen una parte principal de las obras de infraestructura vial de un País y por tanto los objetivos de la Ingeniería, son asegurar su conservación y funcionamiento con seguridad. La correcta gestión que pueda desarrollar un operador de infraestructura depende de la información que dispongan respecto al comportamiento de los elementos, su desgaste y el conocimiento de las patologías que puedan afectarlos. Sin embargo, en el ámbito local, dentro del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona-Santiago (GADPMS), Ecuador; no se ha logrado identificar ningún manual para la correcta operación de puentes colgantes. **Metodología.** Frente a este problema, se plantea una investigación a nivel descriptivo, en la que se busca medir, mediante observación recurrente, el porcentaje de daño presente en perfiles estructurales y péndolas de puentes colgantes carrozables que han sido sometidos a mantenimientos durante los años 2019 y 2020. Con el procesamiento de la información obtenida se busca proponer una planificación en la que se defina la frecuencia con la que se debe intervenir en el mantenimiento de elementos estructurales de puentes colgantes carrozables de Morona-Santiago con capacidad de carga igual o menor a cinco toneladas, para el período 2022-2023.

Abstract

Introduction. Bridges constitute a main part of the road infrastructure works of a Country and therefore the objectives of the Engineering are to ensure their preservation and safe operation. The correct management that an infrastructure operator can develop depends on the information they have regarding the behavior of the elements, their wear and the knowledge of the pathologies that may affect them. However, at the local level, within the Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona-Santiago (GADPMS), Ecuador; It has not been possible to identify any manual for the correct operation of suspension bridges. **Methodology.** Faced with this problem, descriptive research is proposed, which seeks to measure, through recurrent observation, the percentage of damage present in structural profiles and hangers of suspension bridges that have been subjected to maintenance during the years 2019 and 2020. With the processing of the

information obtained, it is sought to propose a planning in which the frequency with which to intervene in the maintenance of structural elements of suspension bridges of Morona-Santiago with a load capacity equal to or less than five tons is defined, for the period 2022-2023.

Introducción

Las grandes estructuras desempeñan un papel fundamental en el dinamismo de la economía y por ende en el desarrollo sustentable de los pueblos. Los gobiernos suelen gastar una gran cantidad de dinero cada año para la rehabilitación y mantenimiento de las infraestructuras existentes (Wickramasinghe et al., 2020). Los puentes hacen parte principal de las obras de la infraestructura vial de un País, y por tanto los objetivos de la Ingeniería, son asegurar su conservación y funcionamiento con seguridad (Muñoz et al., 2013).

El campo del Monitoreo de Salud Estructural (*SHM*) ha recibido una atención creciente por parte de los investigadores en los últimos años; con el único propósito de ayudar e informar a los operadores de infraestructura, de manera oportuna, el estado de los elementos para la adecuada planificación e intervención en los mismos, de manera que se garantice la seguridad de los usuarios y de la inversión económica realizada (Brownjohn, 2007).

Para indicar el estado de salud de los puentes y ayudar a las partes interesadas a tomar decisiones sobre el mantenimiento, es común realizar una evaluación de eficiencia estructural mediante un proceso de jerarquía analítica, atendiendo a la edad e historial de servicio de los elementos (Xu et al., 2019), siendo necesario identificar el alcance del análisis que se va a realizar.

En Colombia se ha desarrollado el Sistema Colombiano de Gestión de Puentes (SIPUCOL), mediante el cual se han identificado los daños sufridos por los componentes principales de los puentes, incluyendo tipificación, calificación, niveles de durabilidad, estabilidad y operación del servicio; así como la evaluación de las tareas de mantenimiento y restauración implementadas (Muñoz et al., 2013). Evidenciándose así que Latinoamérica se está sumando a la planificación de tareas de mantenimiento y restauración de estructuras, en este sentido han ganado bastante terreno la utilización de materiales especiales para el tipo de clima que deben soportar, como es el acero resistente a la intemperie (Y. Zhang et al., 2019).

Las patologías estructurales que se presentan en los puentes varían en intensidad e incidencia, van ligadas a los conceptos de rendimiento, durabilidad, entorno, conformidad, ciclo de vida útil y mantención. Entre los principales deterioros en estructuras de acero se incluyen: a) Oxidación, b) Deterioro causado por sobrecarga (deformación, c) Grietas o fisuras (Rademacher et al., 2018). Es posible definir el ciclo de vida de un material, como el período durante el cual sus características químicas y físicas permanecen sobre los límites mínimos especificados para su función. El ciclo de vida puede ser extendido en forma significativa con un adecuado programa de mantención estructural (Mascia & Sartorti, s.f.). Durante el ciclo de vida de un puente, los impactos dinámicos debidos a cargas de tráfico aleatorias y las condiciones deterioradas de la superficie de la carretera pueden provocar problemas graves de fatiga en los componentes del puente (W. Zhang & Cai, 2012).

En el ámbito local, dentro del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona-Santiago, Ecuador (*Código Orgánico de Organización Territorial, COOTAD*, 2010); no se ha logrado identificar ningún manual u hoja de ruta a seguir para el mantenimiento de puentes colgantes, es decir no existe ningún método estandarizado (Chen et al., 2019). De igual manera son escasos o nulos los recursos que se destinan al Monitoreo de Salud Estructural (*SHM*), lo cual significa una dificultad mayor para los operadores de infraestructura (Secretaría Nacional de Contratación Pública, 2019, 2020). Incluso es limitada la información existente como resultado de la observación recurrente por visitas in situ (Xu et al., 2019).

En consecuencia, se determina que la problemática a abordar (Rico-Villademoros & Hernando, 2011), a un nivel de investigación descriptivo, es que el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona-Santiago (GADPMS) interviene de manera recurrente en el mantenimiento de puentes colgantes (Secretaría Nacional de Contratación Pública, 2019, 2020), ahora bien ¿es oportuna la frecuencia con la que se interviene en el mantenimiento de elementos estructurales? Para el desarrollo de la investigación es necesario delimitar la población de estudio y establecer una muestra. El método será el monitoreo de los elementos estructurales de la muestra, es decir perfiles estructurales y péndolas, mediante la técnica de observación recurrente. La observación se aplicará en visitas in situ, con equipos de medición manual y mediante el registro de datos en un cuaderno de notas previamente preparado.

Metodología

La metodología de la investigación se desarrolla de acuerdo con el siguiente esquema: 1. - Línea base: Identificación de puentes colgantes con capacidad de carga menor o igual a cinco toneladas en la Provincia de Morona-Santiago, que hayan sido intervenidos en el mantenimiento de péndolas y/o perfiles estructurales durante los años 2019 y 2020. 2. - Información estadística: Para estos puentes, en los dos últimos años, es decir en los años

2019 y 2020, ¿cuál ha sido la inversión de recursos económicos realizada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona-Santiago (GADPMS) para la ejecución de mantenimientos? 3. - Muestreo: Del Universo definido en el numeral 1, se realiza un muestreo con el 95% de confianza y un margen de error del 5%. 4. - Análisis de datos: La población identificada es de 4 proyectos, y al realizar el muestreo se tiene que, se deben analizar cuatro proyectos: Puente Kurints, Puente Jiat, Puente Pimpints, Puente Shinkiatam. Se tabula la información detalla de los trabajos ejecutados en cada puente. 5. - Monitoreo: Obtenida la muestra se aplican métodos de Monitoreo de Salud Estructural (SHM), para el caso, la observación recurrente de: a) Porcentaje de corrosión de perfiles estructurales y péndolas, comparando la dimensión del tramo afectado con la dimensión del elemento, expresado en porcentaje (Mascia & Sartorti, s.f.); b) Porcentaje de deformación de perfiles estructurales y péndolas, comparando la dimensión de la deformación con la dimensión del elemento y expresado en porcentaje (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015); c) Porcentaje de fisuras mayores a 5 mm en perfiles estructurales y péndolas, comparando la dimensión de la fisura con la dimensión de la sección del elemento afectado, expresado en porcentaje (Mascia & Sartorti, s.f.). 6. - Procesamiento de la información: Monitoreados esos daños, se analiza el ciclo de vida útil de estos elementos (perfiles estructurales y péndolas). Se desarrolla el estudio a un nivel Descriptivo. Comparando el porcentaje de daño frente al tiempo transcurrido desde su último mantenimiento. 7. - Recomendaciones: Recomendar una planificación que defina la frecuencia con la que se debe aplicar el mantenimiento a perfiles estructurales y péndolas de puentes colgantes con una capacidad de carga menor o igual a cinco toneladas de Morona-Santiago para el período 2022-2023.

Resultados

Una vez identificada la Línea Base y la Información Estadística de los proyectos se procedió a establecer el Universo de estudio, definiéndose cuatro (4) proyectos, los mismos que son: a) Puente Kurints, b) Puente Jiat, c) Puente Pimpints y d) Puente Shinkiatam; a partir de ello, se realiza el respectivo muestreo aleatorio simple con el 95% (noventa y cinco por ciento) de confianza (Otzen & Manterola, 2017), obteniéndose una muestra conformada por los mismos cuatro proyectos. El cálculo de la muestra se realiza mediante la herramienta en línea “Calcular la Muestra”, de *Feedback Networks*, (*Feedback Networks Technologies*, s.f.); dicha herramienta utiliza la Ecuación 1.

Ecuación 1

Fórmula para el Cálculo del Tamaño de la Muestra

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q}$$

Fuente: *Feedback Networks Technologies*, s.f.

En donde:

- N: es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados), (N= 4).
- k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos, (k=1,96).
- e: es el error muestral deseado, (e=5%).
- p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio, (p=0.5).
- q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, (q=0.5).
- n: es el tamaño de la muestra, (n=4).

Se procede a tabular la información recolectada del GADPMS, respecto de estos proyectos, Tabla 1.

Tabla 1
Información de archivo de la muestra

N	Denominación	Código	Inversión Total (\$)	Inversión en Perfiles Estructurales y Péndolas (\$)	% de Inversión en Perfiles Estructurales y Péndolas
1	Mantenimiento del Puente Sobre el Río Upano Paso a Kurints, Cantón Santiago*	MCO-GADPMS-024-2020	87,212.24	22,791.69	26.13%
2	Mantenimiento y reparación del Puente sobre el Río Panki paso de Tuutinentsa a Jiat, Parroquia Tuutinentsa, Cantón Taisha	MCO-GADPMS-017-2019	44,420.91	5,192.80	11.69%
3	Mantenimiento y reparación del Puente Sobre El Río Panki paso a Pimpints, Parroquia Taisha, Cantón Taisha.	MCO-GADPMS-017-2020	65,404.28	16,976.34	25.96%
4	Mantenimiento y reparación del Puente sobre el Río Panki paso de Shinkiatam a Tuutinentsa, Parroquia Tuutinentsa, Cantón Taisha	MCO-GADPMS-003-2020	49,117.55	6,965.50	14.18%
TOTALES			246,154.98	51,926.33	21.09%

Nota: * El Contrato se encuentra suspendido por razones técnicas (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago, 2021d).

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago, 2021c, 2021a, 2021b, 2021d)

La inversión total del GADPMS, durante los años 2019 y 2020 en el mantenimiento de puentes colgantes con capacidad de carga menor a cinco toneladas asciende a un valor de USD \$ 246,154.98 (Doscientos cuarenta y seis mil ciento cincuenta y cuatro con 98/100 dólares), y el monto correspondiente a perfiles estructurales y péndolas asciende a USD \$ 51,926.33 (Cincuenta y un mil novecientos veinte y seis con 33/100 dólares), lo cual representa el 21.09% (Veinte y uno con 09/100 por ciento) de la inversión total.

Una vez obtenida una evaluación general, se realiza un análisis proyecto a proyecto, en el que se detalla las fechas de intervención en el mantenimiento, la duración de los trabajos y la fecha de entrega – recepción provisional y definitiva de cada proyecto; con lo cual se puede analizar la temporalidad de cada etapa. Luego, se contabiliza la cantidad en metros de perfiles estructurales y péndolas intervenidos.

A continuación, se procede con la observación de campo; durante los días 21 y 22 de diciembre de 2021, en donde se observan y registran los porcentajes de oxidación, los porcentajes de deformación y los porcentajes de fisuras tanto en perfiles estructurales como en péndolas de cada proyecto.

No se encontraron datos del Puente Kurints debido a que el contrato MANTENIMIENTO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO UPANO PASO A KURINTS, CANTÓN SANTIAGO, con código MCO-GADPMS-017-2019 se encuentra suspendido y no se han realizado aún las reparaciones de perfiles estructurales ni de péndolas; razón por la cual se excluye la información de este proyecto para el análisis.

Por otro lado, en la visita de campo del proyecto MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO PANKI PASO DE TUUTINENTSA A JIAT, PARROQUIA TUUTINENTSA, CANTÓN TAISHA, con código MCO-GADPMS-017-2019; se verificó que las péndolas aguas abajo del puente se encuentran deformadas en su totalidad, por lo que necesitan una inmediata reparación y este hecho obliga a que no se pueda realizar un correcto análisis del período de retorno para el mantenimiento de péndolas, teniendo que descartar la información dicho parámetro para el análisis.

De los proyectos restantes, se registra la fecha en que se identifica el daño en perfiles estructurales y péndolas, es decir la fecha de elaboración del informe técnico respectivo, con respectiva lectura de: Porcentaje de Corrosión Perfiles Estructurales inicial (%PEC₀), Porcentaje de Deformación Perfiles Estructurales inicial (%PED₀), Porcentaje de Fisuras mayores a 5mm Perfiles Estructurales inicial (%PEF₀); a la vez se registra: Porcentaje de Corrosión en Péndolas inicial (%pC₀), Porcentaje de Deformación en Péndolas inicial (%pD₀), Porcentaje de Fisuras mayores a 5mm en Péndolas inicial (%pF₀). Cada uno de estos registros se los vuelve a realizar en la fecha de entrega – recepción del contrato de mantenimiento de cada proyecto (%PEF₁, %PED₁, %PEF₁, %pC₁, %pD₁ y %pF₁), y

finalmente se registran datos de cada lectura en la fecha de observación de cada proyecto (%PEF₂, %PED₂, %PEF₂, %pC₂, %pD₂ y %pF₂), ver Tabla 1.

Tabla 2
Información Procesada de cada Proyecto

Parámetro		Datos			
Nombre del Puente		Kurints	Jiat	Pimpints	Shinkiatam
Coordenadas	X	807899.50	891324.47	890202.06	893958.29
WGS84 S 17S	Y	9700457.00	9712545.21	9739527.65	9724656.90
Longitud (m)		106.00	66.00	73.00	46.00
Ancho (m)		3.00	3.00	3.00	3.00
Río		Upano	Panki	Panki	Panki
Parámetro		Datos			
Gálibo (m)		18.00	12.00	15.00	12.00
Comunidades Beneficiarias		Kurints, Panía, Tuntiak, Yakuam, Alto Panía, Nukantai, Sunkants, Puchimi	Jiat, Yamanunka, Kapatinentisa, Jempentsa.	Pimpints, Kuseants, Wachapa, Ishpink	Shinkiatam, Jimiarentsa, Pampants, Tuutinentisa.
Fecha de Elaboración del Informe Técnico		2020-09-23	2019-10-20	2020-06-30	2020-05-06
% de Corrosión en Perfiles Estructurales (%PEC ₀)		45.61%	50.50%	73.99%	76.85%
% de Deformación en Perfiles Estructurales (%PED ₀)		45.61%	58.57%	73.99%	76.85%
% de Fisuras mayores a 5mm en Perfiles Estructurales (%PEF ₀)		45.61%	58.57%	73.99%	76.85%
% de Corrosión en Péndolas (%pC ₀)		34.77%	20.04%	46.15%	51.91%
% de Deformación en Péndolas (%pD ₀)		34.77%	20.04%	46.15%	51.91%
% de Fisuras mayores a 5 mm en Péndolas (%pF ₀)		34.77%	20.04%	46.15%	51.91%
Fecha del Contrato		2021-01-13	2020-01-16	2021-01-13	2020-09-07
Fecha de Recepción Provisional		Sin datos	2020-06-30	2021-04-21	2020-11-20
% de Corrosión en Perfiles Estructurales (%PEC ₁)		Sin datos	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 2
Información Procesada de cada Proyecto (continuación)

Parámetro	Datos			
% de Deformación en Perfiles Estructurales (%PED ₁)	Sin datos	0.00%	0.00%	0.00%
% de Fisuras mayores a 5 mm en Perfiles Estructurales (%PEF ₁)	Sin datos	0.00%	0.00%	0.00%
% de Corrosión en Péndolas (%pC ₁)	Sin datos	0.00%	0.00%	0.00%
% de Deformación en Péndolas (%pD ₁)	Sin datos	0.00%	0.00%	0.00%
% de Fisuras mayores a 5 mm en Péndolas (%pF ₁)	Sin datos	0.00%	0.00%	0.00%
Fecha de Recepción Definitiva	Sin datos	2021-03-04	SIN DATOS	2021-06-08
Fecha de Observación	2021-12-22	2021-12-21	2021-12-22	2021-12-21
% de Corrosión en Perfiles Estructurales (%PEC ₂)	Sin datos	5.66%	9.57%	16.08%
% de Deformación en Perfiles Estructurales (%PED ₂)	Sin datos	1.10%	1.83%	1.51%
% de Fisuras mayores a 5 mm en Perfiles Estructurales (%PEF ₂)	Sin datos	0.00%	0.02%	0.02%
% de Corrosión en Péndolas (%pC ₂)	Sin datos	0.29%	0.29%	0.40%
% de Deformación en Péndolas (%pD ₂)	Sin datos	50.00%	2.94%	6.81%
% de Fisuras mayores a 5 mm en Péndolas (%pF ₂)	Sin datos	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago, 2021c, 2021a, 2021b, 2021d)

Una vez tabulada toda la información; se procede conformar los pares ordenados para la conformación de las respectivas gráficas. Se determina el tiempo transcurrido entre la fecha de presentación del informe ($t=0$), la fecha de la entrega – recepción provisional de los trabajos de mantenimiento por contrato ($t=1$) y la fecha de observación ($t=2$), asignándole a cada lectura de tiempo el porcentaje de daño correspondiente de cada observación. Esta metodología se aplica tanto a los Perfiles Estructurales como a las Péndolas de cada proyecto. Los daños por Corrosión identificados en cada proyecto se deben al clima al que están expuestos (Rademacher et al., 2018). Se pudo observar que los usuarios de los puentes analizados soportan cargas e impactos de vehículos que

transportan ganado, pasajeros, madera, entre otros productos; razón por la cual están expuestos a una fatiga continua que genera daños en la estructura por Deformación y provocan la presencia de Fisuras mayores a 5 mm.

Para el procesamiento de información, se conforman las gráficas respectivas, y se procede a identificar una línea de tendencia que describa de mejor manera el comportamiento de los daños a lo largo del tiempo, considerando las intervenciones por mantenimiento. Con la línea de tendencia adecuada se obtiene la respectiva ecuación. Para los casos analizados la línea de tendencia que mejor se acopla a los datos es una polinómica de segundo grado. Dicha ecuación permite determinar el tiempo que debe transcurrir para que el elemento respectivo vuelva a presentar el porcentaje de daño que motivó la intervención inicial. Se presentan los resultados del caso más desfavorable.

Puente Shinkiatam

Para el Puente Shinkiatam se obtiene una gráfica para el daño analizado por cada elemento y de las gráficas se obtienen las respectivas ecuaciones y el período de retorno hasta llegar al porcentaje de daño que motivó el mantenimiento. A continuación, se presentan los datos y la gráfica correspondiente al período de retorno de daño inicial más desfavorable para el porcentaje de Corrosión en Péndolas. Ver Tabla 3.

Tabla 3

Corrosión en Péndolas en el tiempo

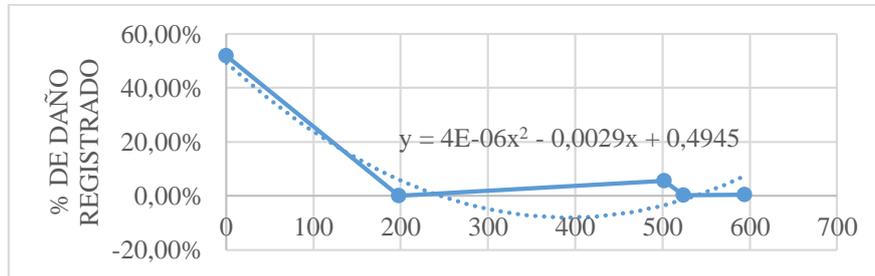
Actividad	Fecha	Tiempo Transcurrido (Días)	% de Corrosión Registrado
Elaboración del Informe	2020-05-06	0	51.91%
Recepción Provisional del Contrato	2020-11-20	198	0.00%
Fecha Inicio de Mantenimiento por Administración Directa	2021-09-20	502	5.65%
Fecha Fin de Mantenimiento por Administración Directa	2021-10-12	524	0.00%
Observación	2021-12-21	594	0.40%

Se presenta la gráfica correspondiente de los datos antes tabulados. Ver

Figura 1

Figura 1

Corrosión de Péndolas en el Tiempo



En análisis previamente descrito se realizó para cada daño y para cada elemento. Como resumen en la Tabla 4, se presenta la descripción del daño evaluado, la ecuación que describe la evolución del daño en el tiempo y el período de retorno al porcentaje de daño inicial para la situación más desfavorable; en este caso para la Corrosión en Péndolas.

Tabla 4

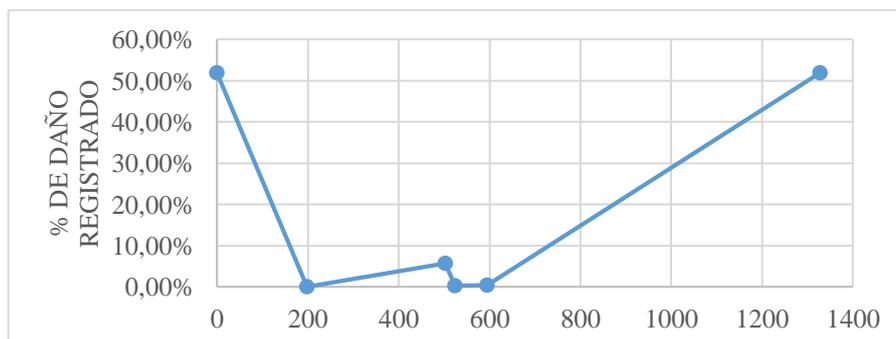
Análisis del Período de retorno al porcentaje de daño inicial por corrosión en Péndolas

Daño Evaluado	Ecuación	Período de Retorno (Días)	Período de Retorno (Años)
Corrosión	$y = 4E-06x^2 - 0.0029x + 0.4945$	7.33E+02	2.01
Deformación	$y = 4E-06x^2 - 0.003x + 0.493$	7.59E+02	2.08
Fisuras mayores a 5 mm	$y = 4E-06x^2 - 0.0029x + 0.4946$	7.33E+02	2.01

Para cada una de las ecuaciones presentadas en la Tabla 4, se resuelve la ecuación de segundo grado para el porcentaje de daño por Corrosión en Péndolas que motivó el mantenimiento (51.91%) y así obtener el tiempo en días, teórico, en el que se repetiría, para finalmente expresarlo en años. Para una mejor comprensión, ver la Figura 2.

Figura 2

Análisis del Período de retorno al porcentaje de daño inicial por corrosión en Péndolas



Como se puede ver en la Figura 2, deben transcurrir 733 días ó 2.01 años, contados a partir del último mantenimiento para que las péndolas presenten nuevamente un porcentaje de 51.91% de corrosión.

Finalmente, se presenta la Tabla 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con el resumen de los períodos de retorno más desfavorables determinados para cada proyecto, el indica el tiempo al que se tienen que aplicar trabajos de mantenimiento tanto en Perfiles Estructurales como en Péndolas.

Tabla 5

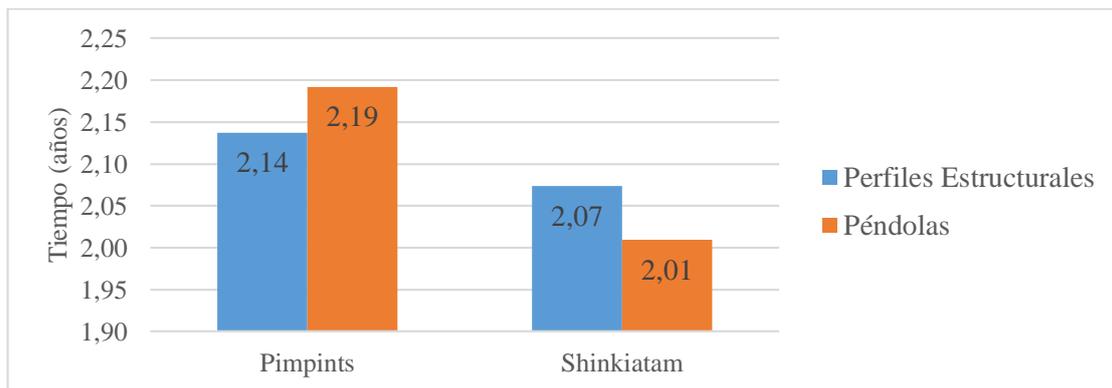
Período de retorno para aplicar mantenimiento a perfiles estructurales y péndolas

Proyecto	Perfiles Estructurales (Años)	Péndolas (Años)
Pimpints	2.14	2.19
Shinkiatam	2.07	2.01

Se procede a presentar una gráfica de barras, que representa de mejor manera los datos anteriores. Ver Figura 3.

Figura 3

período de retorno para aplicar mantenimiento a perfiles Estructurales y Péndolas



Discusión

Como se indicó en la sección resultados, no se pudieron obtener datos del proyecto MANTENIMIENTO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO UPANO PASO A KURINTS, CANTÓN SANTIAGO, con código MCO-GADPMS-017-2019; ya que el contrato se encuentra suspendido y en consecuencia no se analizó dicha información. En cuanto al proyecto MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO PANKI PASO DE TUUTINENTSA A JIAT, PARROQUIA TUUTINENTSA, CANTÓN TAISHA, con código MCO-GADPMS-017-2019, en la visita de campo se

observó que las péndolas aguas abajo del puente se encuentran completamente deformadas, por lo que deberían ser reparadas en su totalidad para poder someterlas a un análisis adecuado. Se considera importante dar un seguimiento continuo a los trabajos de mantenimiento ejecutados de manera que se pueda documentar de manera más detallada el comportamiento de los materiales intervenidos en cada trabajo de mantenimiento.

Con los datos restantes se realizó el respectivo análisis concluyéndose que los períodos de retorno para aplicar mantenimiento a Perfiles Estructurales y Péndolas en puentes colgantes con capacidad de carga menor o igual a cinco (5) toneladas, oscila entre los 2.01 y los 2.19 años.

Conclusiones

- Una planificación apropiada para la operación de Perfiles Estructurales y Péndolas de puentes colgantes de Morona-Santiago con capacidad de carga igual o menor a cinco (5) toneladas durante el período 2022-2023, debe considerar un período de retorno de 2.01 años a partir del último mantenimiento aplicado a los elementos estructurales analizados previamente.
- Se determinó una muestra de puentes colgantes en Morona-Santiago con capacidad de carga igual o menor a cinco toneladas intervenidos en su mantenimiento por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona-Santiago durante los años 2019 y 2020, utilizando la información estadística del GADPMS; encontrándose un universo de cuatro (4) proyectos: a) Puente Kurints, b) Puente Jiat, c) Puente Pimpints y d) Puente Shinkiatam.
- Se determinó el porcentaje de daño de perfiles estructurales y péndolas de puentes colgantes carrozables con capacidad de carga menor o igual a cinco toneladas de la provincia de Morona-Santiago en un período de tiempo determinado, desde la fecha de la última intervención (que no anteceda al año 2019) hasta la fecha de la investigación, mediante técnicas de Monitoreo de Salud Estructural (*SHM*), específicamente, observación recurrente in situ; determinándose que los daños a la fecha de la observación, y en general, son menores a un diecisiete por ciento (17%), en un período máximo de quinientos treinta y nueve (539) días de operación, contados a partir del último mantenimiento y considerando únicamente los datos analizables.
- Se concluye que una buena aproximación de la frecuencia, para el período 2022-2023, con la que se deben aplicar mantenimientos a perfiles estructurales y péndolas a partir de su último mantenimiento es de 2.01 años; para lograr que los puentes colgantes de Morona-Santiago que fueron intervenidos durante los años 2019 y 2020, con capacidad de carga menor o igual a cinco toneladas se mantengan operativos y seguros.

Agradecimientos

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología (CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo y al Ing. Danilo Fabián Molina por su aporte desinteresado.

Referencias Bibliográficas

- Código Orgánico de Organización Territorial, COOTAD*, (2010). Asamblea Nacional Del Ecuador). www.lexis.com.ec
- Brownjohn, J. M. W. (2007). Structural health monitoring of civil infrastructure. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, February. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1925>
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2015). *Resistencia de materiales* (CIMNE, Ed.; CIMNE). CIMNE.
- Chen, A., Wang, D., Ma, R., & Pan, Z. (2019). Standardization of life-cycle performance evaluation and application to suspension bridge with multiple pylons. *Structure and Infrastructure Engineering*, 0(0), 1–16. <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1662065>
- Feedback Networks Technologies, S. L. (s.f.). *Feedback Networks*.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago. (2021a). *Mantenimiento y reparación del puente sobre el río Panki paso a Pimpints, parroquia Taisha, cantón Taisha*.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago. (2021b). *Mantenimiento y reparación del puente sobre el río Panki paso de Shinkiatam a Tuutinentsa, parroquia Tuutinentsa, cantón Taisha*.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago. (2021c). *Mantenimiento y reparación del puente sobre el río Panki paso de Tuutinentsa a Jiat, parroquia Tuutinentsa, cantón Taisha*.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago. (2021d). *Mantenimiento del puente sobre el río Upano paso a Kurints, cantón Santiago*.
- Mascia, N. T., & Sartorti, A. L. (s.f.). Identification and analysis of pathologies in bridges of urban and rural roads. *Revista Ingeniería de Construcción*, 26(1). www.ing.puc.cl/ric
- Muñoz, E., Gómez, D., Universidad, P., Muñoz, E., & Gómez, D. (2013). Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia Analysis of the evolution of damage in the bridges of Colombia. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 28, 37–62. <https://doi.org/10.4067/SO718-50732013000100003>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo. *Int. J. Morphol.*, 35(1).
- Rademacher, D., Ochojski, W., Lorenc, W., & Kożuch, M. (2018). Advanced solutions with hot-rolled sections for economical and durable bridges. *Steel Construction*, 11(3), 196–204. <https://doi.org/10.1002/stco.201800009>
- Rico-Villademoros, F., & Hernando, T. (2011). La introducción de un artículo científico original: el minusvalorado corazón del estudio. *Panace@: Revista de Medicina, Lenguaje y Traducción*, 12(33), 108–111.
- Secretaría Nacional de Contratación Pública. (2019). *Consulta del Plan Anual de Contratación - 2019*. Consulta Del Plan Anual de Contratación. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/buscarPAce.cpe?entidadPac=bx6euH4E7d2OSWtigD8c4X2Od9JnIhzQ9pDvtdt6SBU,&anio=vGCt2nnhLzMWi19VVjKD10DJ3cQFGIsbfFaamPCLWoo,&nombre=OJ6HYC9pwHbpu4cLLT2fyfnyofbWsG_sJA8TOmCqEm811P7rfe1V7PtojykWDI
- Secretaría Nacional de Contratación Pública. (2020). *Consulta del Plan Anual de Contratación - 2020*. Consulta Del Plan Anual de Contratación. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/buscarPAce.cpe?entidadPac=diBGf_h3oueuW6hV8rjG_PU0ZjbI774QZFwt8Qj_1HA,&anio=b987ccYsDdxxPb10IO213sfsC0OHObOwaGKhQ1MtbPE,&nombre=pVdExeAkf2AqB71CWGKZAgQoYWvQX5UtPZQql7TH5OuH1X9ctyZ-kwGug1jW1
- Wickramasinghe, W. R., Thambiratnam, D. P., & Chan, T. H. T. (2020). Damage detection in a suspension bridge using modal flexibility method. *Engineering Failure Analysis*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104194>
- Xu, X., Huang, Q., Ren, Y., Zhao, D., Zhang, D., & Sun, H. Bin. (2019). Condition evaluation of suspension bridges for maintenance, repair, and rehabilitation: a

comprehensive framework. *Structure and Infrastructure Engineering*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/15732479.2018.1562479>

Zhang, W., & Cai, C. S. (2012). Fatigue Reliability Assessment for Existing Bridges Considering Vehicle Speed and Road Surface Conditions. *Journal of Bridge Engineering*, 17(3), 443–453. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)be.1943-5592.0000272](https://doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0000272)

Zhang, Y., Zheng, K., Heng, J., & Zhu, J. (2019). Corrosion-fatigue evaluation of uncoated weathering steel bridges. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(17). <https://doi.org/10.3390/app9173461>

Conflicto de intereses

Yo, Juan Carlos Berrezueta Torres, declaro que no tengo ningún conflicto de intereses en la publicación del presente artículo.

Yo, Carlos Julio Calle Castro, declaro que no tengo ningún conflicto de intereses en la publicación del presente artículo.



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

