



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“MANUAL DE MANTENIMIENTO DE PUENTES
COLGANTES”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: GUILLERMINA ANTONIETA CAYAMCELA
CHACHA**

MARLON ARIEL ÑAMAGUA CUENCA

**DIRECTOR: MSC. ING. JUAN SEBASTIAN MALDONADO
NOBOA**

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**“MANUAL DE MANTENIMIENTO DE PUENTES
COLGANTES”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: GUILLERMINA ANTONIETA CAYAMCELA
CHACHA**

MARLON ARIEL IÑAMAGUA CUENCA

DIRECTOR: MSC.ING. JUAN SEBASTIAN MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

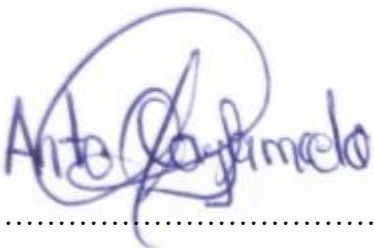
2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA


Guillermina Antonieta Cayamcela Chacha y Marlon Ariel Iñamagua Cuenca portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0350047296 y 1900753235**. Declaramos ser autores de la obra: “**Manual de mantenimiento de puentes colgantes**”, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **08 de septiembre de 2022**



F:

Guillermina Antonieta Cayamcela Chacha
C.I. 0350047296



F:

Marlon Ariel Iñamagua Cuenca
C.I. 1900753235

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación con el tema “**MANUAL DE MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES**”, fue desarrollado por Cayamcela Chacha Guillermina Antonieta y Iñamagua Cuenca Marlon Ariel, bajo mi supervisión.

Atentamente,

DIOS, PATRIA CULTURA Y DESARROLLO

F: 

Msc. Ing. Juan Sebastián Maldonado Noboa

C.I. 0104005152

DOCENTE – TUTOR

DEDICATORIA

Dedico esta investigación de tesis a mis padres, hermanos e hijo quienes me apoyaron incondicionalmente en la trayectoria de mi formación académica. También dedico el trabajo de titulación a la academia y ciudadanía, esperando que sea de utilidad para ampliar los conocimientos del tema.

Antonieta

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, la Dra. Narcisa de Jesús Cuenca Sánchez y al Ing. Carlos Antonio Ñamagua Averos, que me han guiado por un camino lleno de logros y me apoyan en cada paso, permitiéndome cumplir mis metas, siendo un pilar fundamental de los logros que he obtenido hasta el día de hoy. Confiaron y dedicaron su esfuerzo cada día para transformar mis sueños en objetivos cumplidos, algo que un día era solo una idea, el día de hoy me permito decirles que nuestro esfuerzo y dedicación dieron sus frutos.

Marlon

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a DIOS, por ser Èl el guía de inicio a fin en cada momento de este trayecto de mi vida, siendo luz en cada adversidad; a mis padres, quienes con su apoyo, amor incondicional me motivaron cada día; hermana y a mi hijo Gael; en general, a mi familia por ser el apoyo constante y el pilar fundamental de motivación en cada una de las decisiones tomadas durante todos estos años de estudios universitarios, debido a que sin sus consejos, no hubiera sido posible alcanzar este título universitario, tan anhelado.

Agradezco al Ing Juan Sebastián Maldonado quien, asumiendo el rol de tutor, me ha guiado en el desarrollo de mi investigación y brindado su apoyo, conocimientos en cada una de las etapas del trabajo de titulación

A cada una de estas personas mencionadas, hoy les doy las gracias por encaminarme y motivarme cada día.

Antonieta

AGRADECIMIENTOS

Agradezco encarecidamente, a Dios por bendecirme con buena salud y permitirme llegar hasta este punto, a mis padres, hermanos y toda mi familia que me ha apoyado desde el primer día que inicio esta nueva travesía confiando en mis decisiones y metas.

Me siento agradecido con mis profesores, que tuvieron la virtud de enseñanza y por su gran paciencia al momento de impartir su conocimiento, a mis colegas que fueron mis compañeros de aventura, por tantas horas de estudio y esfuerzo, noches que parecían eternas, pero me acompañaron hasta el final. También agradezco a mis amigos que me dieron de su confianza y apoyo moral, durante los días de decepción y lograban motivarme para no rendirme.

Por último, agradezco a mi tutor de tesis quien, con sus indicaciones, compromiso y esfuerzo, nos ha encaminado durante el proyecto y permitido realizarlo de la mejor manera, sin su ayuda no se hubiese sido posible lo que hoy es un logro más de mi vida.

Marlon

RESUMEN

Los puentes han tenido grandes problemas a lo largo de la historia por diversas anomalías encontradas durante y posterior a su construcción, es por ello, **que se presenta un manual de mantenimiento de puentes colgantes**, donde se especifica la manera de llevar a cabo los trabajos de inspección, evaluación y mantenimiento con el objetivo de que la estructura se mantenga con las características para las cuales fue diseñada y en el caso de identificar un daño tener una vigilancia que asegure tomar medidas preventivas a tiempo para mitigar el daño estructural y por ende el colapso de la estructura. Se llevo a cabo el análisis de un puente colgante haciendo uso del manual presentado, se identificó las fallas con mayor severidad y se planteó un mantenimiento adecuado para sus reparaciones.

Palabras clave: mantenimiento, inspección, evaluación, ensayos, puente colgante

ABSTRACT

Historically, bridges have been the target of significant problems due to several anomalies found during and after construction. For this reason, a maintenance manual for suspension bridge is provided, which specifies how to carry out bridge inspection tasks, assessment and monitoring to ensure that the structure is maintained with its design characteristics and, in case of damage, to ensure that preventive measures are taken on time to minimize the structural damage and thus the collapse of it. A suspension bridge analysis was carried out using the manual provide, the most severe failures were identified and an appropriate maintenance plan for its repairs was proposed.

Keywords: maintenance, inspection, evaluation, testing, suspension bridge

Índice De Contenido

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
Capítulo I.....	1
Introducción.....	1
Formulación Del Problema.....	2
Delimitación Del Problema	6
Justificación.....	6
Objetivos.....	7
Estado del arte	7
Capitulo II - Marco Teórico.....	9
Definición de Puentes.....	9
Definición de Puentes colgantes.....	9
Tipos De Puentes Colgantes	9
Partes Fundamentales Del Puento Colgante	10
Normas Vigentes Para El Diseño De Puentes	14
Capitulo III - Patologías De Los Puentes	15
Tipos de Patologías.....	15
Patologías En El Hormigón Armado.....	29
Capítulo IV – Inspecciones.....	34
Inspección.....	34
Tipos De Inspecciones.....	34
Frecuencia De Las Inspecciones.....	39
Personal De Inspección. O Requisitos Y Obligaciones Del Personal De Inspección.....	39
Planificación Y Programación.....	40
Procedimiento De La Inspección.....	40
Fichas Técnicas De Inspección Y Evaluación De Puentes.....	41
Herramientas.....	53

Acciones Para Detectar Daños Más Comunes	58
Directrices para inspeccionar los de deterioro del puente	58
Evaluación De Puentes	63
Método De Evaluación Estructural.....	65
Tipos De Evaluaciones	65
Metodología General	67
Capítulo V - Ensayos.....	68
Ensayos de Identificación.....	68
Ensayos No Destructivos.....	70
Ensayos Destructivos.....	76
Capítulo VI - Mantenimiento De Puentes Colgantes De Acero	79
Mantenimiento Total	79
Mantenimiento Individual	80
Mantenimiento Autónomo.....	80
Mantenimiento Planificado.....	80
Objetivos De Mantenimiento En Puentes.....	80
Tipos De Mantenimiento	80
Aspectos De Una Propuesta De Mantenimiento.	84
Equipos de Protección Personal	84
Reparación y Protección De Elementos	85
Reducción de los Efectos de Carga	98
Reparación De Grietas De Acero	99
Renovación de Uniones Remachadas.....	101
Reparación De Elementos Deformados.....	102
Reparación Mediante Adición De Material.....	104
Uniones.....	105
Limpieza De Escombros Y Vegetación.....	106
Reparación De Hormigón Armado.....	107
Recomendación Para La Reparación De Puentes De Acero	114
Rehabilitación.....	114
Capítulo VII - Caso De Estudio.....	116
Antecedentes.....	116
Metodología.....	116

Inspección.....	117
Mantenimiento.....	136
Capítulo VIII – Conclusiones y Recomendaciones.....	155
Bibliografía.....	159
ANEXOS.....	170
Anexo 1. Fotografías.....	170
Anexo 2. Normativas Vigentes Para El Diseño De Puentes.....	172
Anexo 3. Normas vigentes para la rehabilitación de puentes.....	173
Anexo 4. Manuales para la Evaluación e Intervención de Puentes.....	174

Índice De Tablas

Tabla 1: Intervalo de inspecciones.....	36
Tabla 2: Intervalo en caso de inspección profunda.....	38
Tabla 3: Características generales.....	42
Tabla 4: Detalle de superestructura.....	43
Tabla 5: Detalle de subestructura.....	44
Tabla 6: Detalle de accesorios.....	46
Tabla 7: Planos.....	46
Tabla 8: Fotografías.....	48
Tabla 9: Patologías en la estructura.....	51
Tabla 10: Fotografía de daños.....	52
Tabla 11: Herramientas.....	54
Tabla 12: Estado estructural en función de los daños.....	65
Tabla 13: Propiedades del metal.....	68
Tabla 14: Defectos de fisuras en la superficie de Acero.....	72
Tabla 15: Clasificación de los comportamientos.....	103
Tabla 16: Ancho de fisuras máximas.....	109
Tabla 17: Tipo de desgaste.....	112
Tabla 18: Ficha de procedimientos para reparaciones.....	115
Tabla 19: Ficha técnica 1: características generales.....	118
Tabla 20: Ficha técnica 2: Detalle de superestructura.....	119
Tabla 21: Ficha técnica 3: Detalle de subestructura.....	120
Tabla 22: Ficha técnica 4: Detalle de accesorios.....	122
Tabla 23: Ficha técnica 6: Fotografías.....	125
Tabla 24: Ficha técnica 7: Inspección de puente grado de daño.....	127
Tabla 25: Ficha técnica 8: Inspección de puentes registro fotográfico de daños..	131
Tabla 26: Ficha de mantenimiento por eflorescencia.....	137
Tabla 27: Ficha de mantenimiento para Grietas o fisuras.....	138
Tabla 28: Ficha de mantenimiento para Roturas de elementos o desprendimiento del material.....	140

Tabla 29: Ficha de mantenimiento para Oxidación	142
Tabla 30: Ficha de mantenimiento para Vegetación	144
Tabla 31: Ficha de mantenimiento para Corrosión	146
Tabla 32: Ficha de mantenimiento para Deformación	148
Tabla 33: Ficha de mantenimiento para Nidos de material	149
Tabla 34: Ficha de mantenimiento para Perdida o falta de pernos, tuercas o algún elemento	150
Tabla 35: Ficha de mantenimiento para Dimensiones inadecuadas	152
Tabla 36: Ficha de mantenimiento para Rotura del elemento	153
Tabla 37: Tipos de acero AASHTO/ASTM	175

CAPÍTULO I

Introducción

El ingenio humano se ha desarrollado de tal manera que ha permitido dar soluciones a diferentes necesidades presentes en la vida a lo largo de la historia, en las últimas décadas un problema frecuente ha sido conectar dos zonas que están atravesadas por grandes o pequeños ríos, por ello, se inició la construcción de puentes.

Un puente es aquella estructura que está diseñada para cruzar obstáculos ya se ríos, lagos, vías férreas o carreteras, con la finalidad de conectar los senderos de viajeros, animales y mercancías (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020).

Tradicionalmente las estructuras han sido construidas en hormigón o en acero, debido a la gran versatilidad que estos dos materiales poseen. Con el fin de aprovechar de manera eficiente las propiedades de estos materiales se ha popularizado el sistema de construcción mixta, esto consiste en beneficiarse al máximo del buen comportamiento que tiene el hormigón a compresión, así como el excelente comportamiento del acero al pandeo.

En la actualidad existen diferentes tipos de puentes tales como; puentes de vigas, de arco, colgantes, atirantados, etc. En este trabajo se enfocará en los puentes colgantes, los cuales están compuestos por cables suspendidos entre las torres, péndolas, y superestructura que será por donde transita la población ya sea peatonal o vehicular, por ello, se debe mantener la estructura en un buen estado funcional.

Para mantener el estado funcional de una estructura es necesario técnicas de mantenimiento y conservación, que a su vez es un grupo de actividades necesarios para que el proyecto de construcción conserve sus propiedades iniciales de diseño (Jauregui, 2012).

Las estructuras se pueden ver afectadas por factores ambientales, como la humedad, que puede ocasionar corrosión en estructuras metálicas y erosión en estructuras de hormigón (United States Environmental Protection Agency, 2016), y afectar la estructura hasta llevarla a un posible colapso, por ello, aplicar las técnicas de mantenimiento correctivo, preventivo o necesario permitirá que la estructura mantenga su nivel de funcionamiento durante el tiempo para el cual fue diseñado, a excepción de algún accidente catastrófico no previsible.

Para aplicar el mantenimiento se puede dividir en tres fases: Inspección, Evaluación y Mantenimiento. El resultado de las inspecciones periódicas y las evaluaciones al puente permitirá elaborar un manual base de mantenimiento para los puentes colgantes.

El presente trabajo previo a titulación **se limitará a describir la manera adecuada de llevar a cabo una inspección, una evaluación, y un mantenimiento**, tomando como base el puente ubicado en el cantón el Panguí, parroquia de Tundayme, cabe recalcar que el manual de resultado será una base para puentes con estructura de acero. En cuanto al mantenimiento correctivo y de prevención, se plantea los procedimientos principales que se deben realizar.

Formulación Del Problema

Dentro del ámbito de la construcción la responsabilidad civil no termina con la culminación de la obra. La ley establece una responsabilidad por parte del constructor posterior a la entrega. Es por ello que el profesional a cargo debe garantizar la estructura y generar la comodidad esperada para sus ocupantes.

Cabe recalcar que por falta de experiencia o conocimiento del técnico no se realizan a menudo evaluaciones donde pueden verificar si la estructura está en excelente servicio, o si ha sufrido daños durante el tiempo de funcionalidad, por lo general, en la

mayoría de casos solo se hace el análisis de un puente cuando está deteriorado en su totalidad o cuando ya ha sufrido algún daño que cause una inseguridad al momento de cruzar, de igual forma es debido a que no posee un mantenimiento adecuado durante su funcionalidad.

En la actualidad hay una vasta información sobre el colapso de puentes que se atribuyen al deficiente control de inspecciones y mantenimientos rutinarios, un acontecimiento de ello, es el Puente colgante Reichsbrücke ubicado en Viena, Austria, que colapsó, debido a que sus apoyos eran de concreto sin reforzar, la causa que llevó al deceso de la estructura de acuerdo con los expertos se debe a la decisión de mantener los apoyos sin reforzar y de no mantener un control del puente (Millán et al., 2020).

Un caso similar se dio en Madrid en la carretera M-527, el puente sobre el río Guadarrama se desplomó por causa de las deficiencias estructurales que no se controlaron con anticipación (Parrondo, 2016). En Italia en 2018, el puente Morandi se vino abajo, causando la muerte de 30 personas, el suceso se atribuye al tránsito pesado que circulaba por el lugar, a ello se suma que empezaron a dar un mantenimiento 20 años después de su construcción, por motivo de fallas estructurales, más no por un mantenimiento preventivo (BBC News Mundo, 2018; Luque, 2019; Millán et al., 2020).

Cabe recalcar que hay ocasiones en las que no se pueden realizar las inspecciones debido a problemas económicos o sociales, por ejemplo, el caso del puente Clifton que no se pudo llevar un control durante los años 1938-1952, debido a la segunda guerra mundial, sin embargo, para el año 1953 la estructura pasó a ser un patrimonio, por ello se reiniciaron las técnicas de mantenimiento, en el cual encontraron diversas patologías que se desarrollaron a lo largo del periodo antes mencionado, por ejemplo, se encontraron corrosiones leves en las vigas transversales y diagonales, sin embargo, en los travesaños extremos se reveló una corrosión avanzada debido a que en

la unión a la mampostería impedía una colocación correcta de la pintura anticorrosiva, además, en elementos estructurales de madera se detectó podredumbre, ya que el tratamiento que se le había sido efectuado era una capa de alquitrán, que hoy en día es sabido no ayuda a la protección contra la podredumbre (Mitchell-baker & Cullimore, 1988).

Por otro lado, en Colombia se llevó a cabo un estudio que detalla la causa del colapso de los puentes, para el análisis se tomó en cuenta 63 puentes, los resultados fueron los siguientes: 1 fue por falta de mantenimiento, 6 por una deficiencia en la construcción, 3 por deficiencia estructural, es decir, por un mal diseño, 15 por socavación, 15 por inundación o crecientes, 3 debido a una sobrecarga, y 20 por ataques terroristas. En el estudio hace referencia a la deficiente atención a las estructuras, todo esto se atribuye a una falta de inspección puesto que si se llevara un control desde un inicio los problemas se reducirían en gran medida (Muñoz, 2002).

En el documento de Muñoz Díaz (2002), se detalla que hay un deficiente cuidado de las estructuras (falta de técnicas de mantenimiento). Especifican que, además, no se puede llevar a cabo una correcta inspección debido a que algunas entidades públicas no guardan la información necesaria de los puentes, como planos estructurales y diseños (Muñoz, 2002).

Por otro lado, un problema en los países subdesarrollados es que construyen por experiencia mas no por diseños estructurales planteados, ni siguiendo las normativas locales, un ejemplo de ello son, los puentes “Los ángeles” y “Maizaro” en Colombia, que colapsaron durante su construcción (Muñoz, 2002).

Algo semejante sucedió en Perú, el puente “Solidaridad” que fue diseñado para 20 años de uso, colapso a tan solo 6 años y medio desde que se construyó, debido a irregularidades encontradas que causaron una vulnerabilidad en la estructura

provocando que no soportara la acometida de la naturaleza en el año 2017, se asume fue por negligencias en su construcción y la deficiencia de estudios y diseños en su expediente que causó la inevitable caída del puente (Millán et al., 2020).

En el Ecuador existen diversos puentes que han colapsados por diferentes motivos, a continuación de detalla algunos de ellos:

El puente peatonal en el río Puyo colapsó debido a las anomalías de los elementos estructurales, lo que ocasionó el desprendimiento de los cables, según los técnicos de inspección es por la falta de mantenimiento durante el uso del mismo (el Universo, 2022).

Por otro lado, el Puente peatonal colgante de La Madera del cantón Tosagua, llegó a fallar debido a que uno de los anclajes de acero presentaban corrosión por la salinidad de la arena del concreto, además según el análisis realizado después de su colapso los técnicos informaron que otro factor fue la sobrecarga (Ingenieriyamas, 2017), el mismo factor de sobrecarga ocasionó que el puente vía a Jipijapa colapsara durante la circulación vehicular (el Comercio, 2021).

Además, se tiene otros factores que inciden en la falla de los puentes dentro del país, como la circulación vehicular no permitida en las vías, por ejemplo, el accidente provocado por un camión tipo tráiler con el puente peatonal ubicado en la autopista Cuenca - Azogues, en el km 15, ocasionando el colapso de la estructura (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2020).

En el Oro, el puente de la vía Palmales durante la construcción colapsó. Esto sucedió al momento en el que se colocaba el concreto de la loza, los técnicos señalan que existió fallas en el centro de las tres vigas principales y estas cedieron mientras se colocaba el concreto en el viaducto. Así mismo, otro puente localizado en Manabí colapsó durante su construcción, ya que mientras se colocaba la lámina de

amortiguación de la loseta se intentaban sacar la gata hidráulica, lo que provocó el colapso de las vigas (el Universo, 2013).

Delimitación Del Problema

Con respecto al problema planteado, se puede asimilar el valor fundamental de generar una guía que permita evitar a largo plazo el colapso de la estructura, haciendo las inspecciones necesarias en su debido tiempo, por ello, es necesario realizar un manual a detalle donde se exponga las pautas necesarias para la evaluación puntual en sitio de un puente colgante, mismo que tomara en cuenta todos los aspectos ambientales, naturales y constructivos necesarios para la inspección, evaluación y mantenimiento.

La elaboración de la presente investigación servirá de guía para los técnicos o profesionales encargados de realizar el análisis de la estructura, tomando en cuenta el manual descrito en este trabajo. Además, nos guiaremos en las a normativas internacionales y nacionales como, La Norma Bridge Desing Specifications (AASHTO LRFD 2020), La Normativa Ecuatoriana Vial (NEVI 12), Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y Bridge Welding Code.

Justificación

Debido al aumento de pobladores en las ciudades y su desarrollo de infraestructura vial, se requiere que toda estructura tenga un estado funcional óptimo, por ello, es necesario que se realice evaluaciones del funcionamiento de vías, puentes, y otras estructuras de una manera periódica para evaluar, controlar, evitar y mitigar el fracaso de dicha estructura.

El presente trabajo de titulación pretende realizar una inspección de un puente colgante, con la intención de plantear un mantenimiento de su condición actual, que contenga actividades recomendadas para su posible restauración necesaria para

conservar la integridad del puente, además de que podría servir de guía para la construcción de un manual de mantenimiento de puentes en el país.

Por lo general, los puentes se encuentran sometidos a diversas condiciones que afectan directamente a su funcionalidad, una de ellas es el tráfico que transita sobre la vía y puede producir fatiga en los elementos, también existen daños en los materiales como la corrosión y el deterioro, que reducen considerablemente la funcionalidad y resistencia del material afectado. Por lo tanto, es fundamental implementar una propuesta de manual de mantenimiento de los puentes colgantes, para inspeccionar, evaluar, controlar y mitigar, daños, pérdidas económicas e inclusive la integridad de los usuarios.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar un manual de mantenimiento para puentes colgantes que permite mediante un conjunto de actividades basadas en las inspecciones y evaluaciones periódicas llevar a cabo el mantenimiento adecuado de una estructura

Objetivos Específicos

- Elaborar una propuesta de manual de mantenimiento con las patologías más comunes
- Diseñar fichas técnicas de inspección y mantenimiento
- Realizar inspecciones periódicamente a un puente colgante para verificar el cumplimiento del manual
- Proponer el mantenimiento para el puente colgante de estudio
- Presentar los resultados obtenidos en sitio.

Estado del arte

Estrada Molina (2013), aborda los esquemas de mantenimiento de puentes de concreto, plantea los criterios de mantenimiento y rehabilitación, así como sus

reglamentos y evaluaciones. Además, proponen un programa de mantenimiento y rehabilitación y generan un análisis de estudio, concluyendo que es necesario un sistema de gestión de puentes para brindar un mantenimiento y rehabilitación de alto nivel

Los temas de gestión de puentes, como son las patologías, inspecciones, ensayos, mantenimiento o rehabilitación de un puente, han sido estudiados por Joaquín Gómez Díaz (2015). En su libro se describen los temas de una manera simple y precisa, con la finalidad de que el contenido sea de rápida interpretación.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú (2006), publicó una guía de inspección que se debe realizar previo al mantenimiento, en esta guía se describe la frecuencia de inspecciones, equipos, requisitos, informes, procedimientos de inspección, evaluación de la condición de la estructura, etc. Además, presenta los defectos que se pueden encontrar y las pruebas que se realizan para detectar diferentes patologías.

Robert J. Dexter y Justin Ocel (2013) en el Manual for Repair and Retrofit of Fatigue Cracks in Steel Bridges presentan cuáles son las mejores prácticas consensuadas para la reparación y rehabilitación de grietas por fatiga en puentes de acero. Además, los criterios de diseño y modificaciones cuando la patología sobrepase el valor admisible.

CAPITULO II - MARCO TEÓRICO

Definición de Puentes

El puente es una estructura elemental para el tránsito, mismos que sirven para salvaguardar obstáculos tales como relieve topográfico, corrientes de agua, valles, etc. El diseño se basa en la ingeniería estructural, resistencia de materiales, siendo así numerosos los tipos de diseños de puentes, además están compuestos por dos partes fundamentales; superestructura y subestructura (Gómez, 2015).

Definición de Puentes colgantes

El puente colgante es un tipo de puente que está constituido por los cables principales y péndolas que son los encargados de transmitir las cargas que transitan sobre el tablero hacia las torres de sustentación y por último a la cimentación. (Esteban et al., 2006).

En la estructura los cables principales están conectados a un sistema de anclajes ubicados a cada lado del puente, además trabajan a esfuerzos de tracción, al igual que las péndolas. En la actualidad los puentes colgantes resultan favorables económicamente a partir de los 50 metros de longitud, siendo considerados como uso exclusivo para luces grandes (puede llegar hasta los 180 metros o más), además la mayoría tienen tableros metálicos (Esteban et al., 2006).

Tipos De Puentes Colgantes

Los puentes colgantes se clasifican según el tipo de anclaje, la mayoría de los puentes son anclados de manera externa denominados anclajes en tierra, sin embargo, en ciertos casos los cables principales están conectados a las armaduras de rigidez, y se les denomina auto anclaje (Belmonte, 1990).

Por otro lado, el uso de cables principales curvos discontinuos entre las torres se los clasifica como una clase especial llamados puente de cuerda de brida. Las péndolas

se extienden en intervalos cortos, pero en forma inclinada como si fuera un puente atirantado, haciendo la función de un puente colgante (Belmonte, 1990).

Partes Fundamentales Del Puente Colgante

Los puentes colgantes están constituidos por dos partes principales que son: la subestructura y la superestructura, además cuenta con elementos auxiliares, la diferencia que llevan dichas estructuras son los componentes y los elementos estructurales que poseen los puentes.

Subestructura

La subestructura se compone por los elementos estructurales como la pila, estribos, apoyos en general, cables y demás elementos que ayudan a soportar a la superestructura, así como, la cimentación encargada de transmitir los esfuerzos generados hacia el suelo (Winiker, 2019).

Péndola. Las Péndolas son elementos doblemente articulados que transmiten el peso del tablero a los cables, por lo general, pueden ser de cable de acero o varilla lisa. Se pueden colocar de manera vertical, sin embargo, para mejorar el comportamiento aerodinámico se ubican de forma inclinada, según el criterio de diseño (Escudero & Montti, 2003; Esteban et al., 2006).

Cable Principal. Es el elemento estructural básico que distribuye las fuerzas de tracción y flexibilidad, estructuralmente está conformado por varios hilos o alambres enrollados en forma espiral manteniendo una forma cilíndrica y resistente, que transfieren las cargas que soportan las péndolas. Los cables son de acero galvanizado, también, pueden ser fabricados de lianas, enredaderas, cuero, bambú, y materiales similares (Esteban et al., 2006).

Castillos Y Estribo (Torre De Sustentación). El castillo y estribos (torres de sustentación) son una estructura responsable de transmitir las fuerzas al suelo de cimentación, estas pueden tener una variedad de formas como: muro, en marco, entre otros, pueden estar contruidos por diversos materiales como en concreto reforzado y en algunas ocasiones en concreto pre esforzado y acero. Se componen a su vez del cabezal, cuerpo principal y la fundación (Carrera P. Hernan X. et al., 2008).

En estos componentes estructurales se puede encontrar una gran variedad de daños, deterioros o defectos que se identifican fácilmente, como grietas en los apoyos (estribos), por ello, cuando se inspecciona la subestructura se revisa:

- El deterioro de la estructura en base al nivel del agua.
- Las grietas entre el cuerpo y las alas, y su avance con el tiempo para determinar la existencia de un crecimiento.
- El deterioro de la estructura en la zona de apoyo.

Los daños pueden ser inducidos por problemas relacionados en la cimentación, infiltración, la estabilidad o un mal funcionamiento de la base (Carrera P. Hernan X. et al., 2008).

Pilotes. Son elementos estructurales en caso de una cimentación profunda, que permiten transmitir la carga recibida de la superestructura y enviarla hacia el suelo atravesando los estratos suaves hasta un estrato más resistente con características adecuadas para soportar dicha carga, o permite distribuir adecuadamente la carga en un suelo blando para resistir la fuerza y mantener la estructura con seguridad. Estos pueden ser hincados de acero, madera, concreto reforzado (Idc, 2022).

Cimientos. Las zapatas son por lo general de forma rectangular o cuadrada, contruidas en suelos de media a alta capacidad de carga, o en estructuras que pueden resistir asentamientos diferenciales sin que cause daños en los elementos. Ya que son el

sitio final donde se transmiten las cargas actuantes sobre toda la estructura (Esteban et al., 2006).

Anclaje. El sistema de anclajes tiene como función unir los extremos del cable a la roca que puede ser artificial o natural. Los anclajes transfieren parte de la carga que soporta el cable del puente (Esteban et al., 2006).

Superestructura

La superestructura se define como el sistema estructural compuesto por elementos principales que se encuentran sobre los soportes, como las vigas transversales y longitudinales y por elementos secundarios, tal como el diafragma y el sistema de arriostramiento (Winiker, 2019).

Tablero. El sistema de piso o losa: según el MOPT (2007), es la plataforma por donde circula la carga vehicular cuya función es transferir las cargas a los elementos principales, que pueden ser vigas, arcos, cerchas (Winiker, 2019).

En los puentes colgantes, las péndolas soportan al tablero en distancias cortas. Al Tablero lo conforman los elementos estructurales (generalmente una losa) que resisten en primera instancia, el peso del tránsito vehicular transfiriendo sus efectos a los Elementos Portantes (generalmente traveses o armaduras). Los Elementos Portantes soportan el tablero y salva el claro entre apoyos, transmitiendo las cargas a la subestructura (Winiker, 2019).

Miembros Primarios. Es un elemento rígido que trabaja a esfuerzos de compresión, cuya función es recibir las cargas que actúan en el tablero, mismas que pueden tener forma de I (alma llena) o de armadura (celosía). Además, tiene como objetivo mantener la seguridad estructural del puente. (Esteban et al., 2006) (Belmonte, 1990).

Accesorios

Son los componentes que cumplen una función de seguridad denominados elementos auxiliares:

Barandas. Es un sistema de protección que este situado a ambos lados del puente y fijado al tablero, generalmente son de concreto y acero, como también depende del criterio de diseño (Winiker, 2019).

Juntas De Expansión. Permite el movimiento y la rotación entre dos estructuras, esto para evitar daños que se generan por esfuerzo o deformaciones (Winiker, 2019).

Iluminación. En ciertas estructuras es de vital importancia la visualización de los alrededores por lo que se utilizan tachas reflexivas o denominadas como ojos de gato, además se pueden colocar (Secom, 2021).

Señalización. Previene que los conductores corran riesgo, pues trata de mantener un orden y seguridad al tránsito peatonal o vehicular (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Superficie De Rodamiento. Es una capa de desgaste que puede ser de concreto o asfalto, cuya función es proteger del clima o de la abrasión producida por el flujo vehicular (Winiker, 2019).

Galápagos. Es el Conjunto de placas de sujeción que se ubican en la parte superior de las columnas, donde se colocan los cables principales con el propósito de posibilitar su deslizamiento. Se fabrican con acero de carbón con un espesor máximo de 75mm. Este elemento reemplaza procedimientos sin normalización internacional como fundición gris. Además, el tamaño está en función de la presión lateral admisible sobre los cables, por otro lado, suelen utilizarse para las pilas laterales para dirigir los cables de luz hacia los anclajes. (VersatMetals, 2012).

Normas Vigentes Para El Diseño De Puentes

Las normas vigentes se definen como códigos, con la finalidad de proteger a la población de las fallas o de procedimiento inadecuados que afecten el funcionamiento de la estructura. En el anexo 2 se detalla las normas utilizadas para diseño, evaluación e intervención de puentes

Capítulo III - Patologías De Los Puentes

Patología estructural comprende el análisis minucioso del problema, es decir causas, mecanismo de ocurrencia, mantenimiento y rehabilitación estructural. Por lo que el técnico deberá de realizar un estudio minucioso para indicar el diagnóstico real de la estructura, además deberá tomar en cuenta factores correspondientes a la seguridad y capacidad de resistencia de los elementos en las estructuras. Del mismo modo determinará las medidas de intervención para las condiciones de patología mediante una correcta evaluación del elemento estructural. (Belmonte, 1990)

Tipos de Patologías

Los puentes pueden presentar una gran variedad de problemas, a continuación, se mencionan los más comunes:

Defectos En Función De La Seguridad Y La Resistencia De Las Estructuras

Las anomalías que se presentan pueden darse de una forma visible y como también pueden estar ocultos, estos defectos disminuyen significativamente la resistencia en los elementos estructurales ocasionando la estabilidad, fiabilidad y seguridad (Gómez, 2015).

Los deterioros en las estructuras ocasionan la pérdida, ya sea, parcial o total de ciertos miembros estructurales y a su vez producir el colapso de la estructura mientras se encuentra en funcionamiento (Gómez, 2015).

Los daños suelen ser producto a las tensiones excesivas, pandeo, a discontinuidades en el elemento como grietas, fisuras, o desplazamientos que provoquen una inestabilidad en la estructura (Gómez, 2015)

Defectos Atendiendo A Las Causas Y Su Origen

Las anomalías pueden ser originadas desde la fase de diseño del proyecto, es decir, un diseño estructural incorrecto. También es debido a los defectos de producción, esto es por falta de revisión de la calidad de los materiales (Gómez, 2015).

Defectos Del Material

Defectos De Fundición. Estos defectos tienen origen en el proceso de fundición, adquiriendo una gran variedad de daños durante el proceso que no se han controlado adecuadamente. Las anomalías por fundición suelen ser numerosos, por lo cual, es difícil establecer una clasificación clara de los daños. El daño se puede ver claramente en la **Ilustración 1**, a continuación, se mencionan los defectos más comunes en los elementos (African Pegamatite, 2020; Universidad de Málaga, s. f.):

- Se origina orificios de soplado producto de una ventilación insuficiente del molde
- Se produce esfuerzos residuales por las diferentes velocidades de enfriamiento
- En los miembros estructurales se encuentra que el material tiende a ser débil y grueso en el centro de su sección
- En el centro de la sección es más débil y grueso
- Deformación y defectos superficiales

Ilustración 1

Defectos de fundición

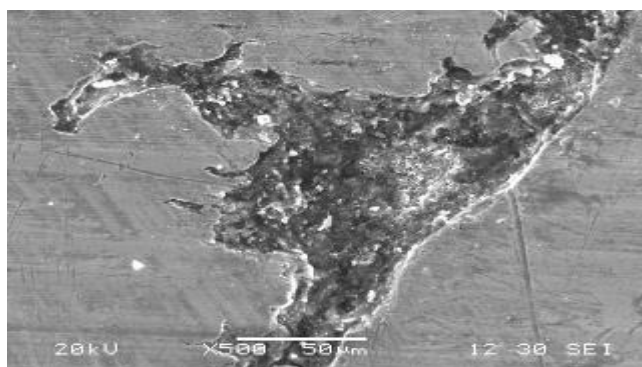


Nota. La ilustración representa el defecto por fundición. Tomado de (Weiben, 2017).

Inclusiones. Este daño es producto de la fabricación de hierro forjado, donde se obtienen fibras y en capas en todo el metal. La corrosión tiende a generarse en las inclusiones fibrosas, además en el proceso de fabricación pueden generar impurezas que aumentan los esfuerzos locales dando inicio a grietas y defectos que pueden llevar al colapso del puente (Moffit, s. f.). La **Ilustración 2** muestra las inclusiones en el metal.

Ilustración 2

Inclusiones en el metal



Nota. La ilustración representa las inclusiones que se encuentran en el metal en ciertos casos. Tomado de (Dasel, s. f.).

Defectos De Fabricación

Piezas De Fundición Reparadas Incorrectamente. En el proceso de fundición del hierro se produce perforaciones de sopladros, cuya característica es en forma de huecos internos. Debido a la existencia de materiales gaseosos presentes en el recipiente donde se funde el hierro se originan orificios de manera interna en el material.

Esta patología puede ser corregida en la industria, donde mediante un sistema de soplado rellenan los huecos internos con un material que carece de resistencia estructural, sin embargo, su detección no se hace en sitio ya que para encontrar el daño suelen pasar un par de años (African Pegamatite, 2020), el daño es similar a lo observado en la **Ilustración 1**.

Defectos Superficiales. Son aquellos daños producidos en la fábrica, ya que algunos fabricantes graban el nombre de su empresa en el elemento, dando de esta manera inicio a la fatiga (Carrión et al., 2003a).

Curvado. El curvado reduce la ductilidad y causa endurecimiento por deformación en las vigas de acero, se repara mediante flexión en frío.

Soldadura. La soldadura causa esfuerzos residuales al elemento estructural, afectando directamente al pandeo, ductilidad y por ende a la vida útil de la estructura. A continuación, se menciona otros defectos a causa de la soldadura (American Welding Society, 2016):

Porosidad. Es la formación de gases por los distintos químicos que pasan durante el proceso de la soldadura originando de esta manera huecos en el metal (American Welding Society, 2016). Se observa el daño en la **Ilustración 3**.

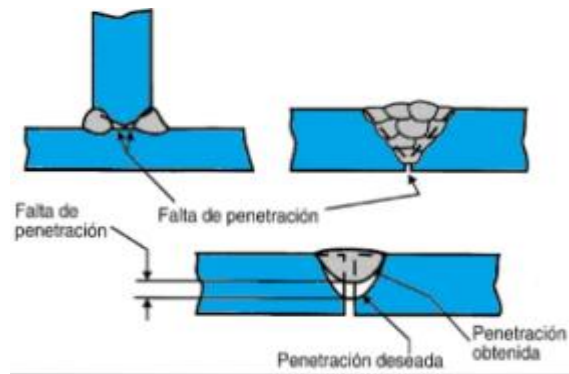
Ilustración 3

Porosidad en la soldadura



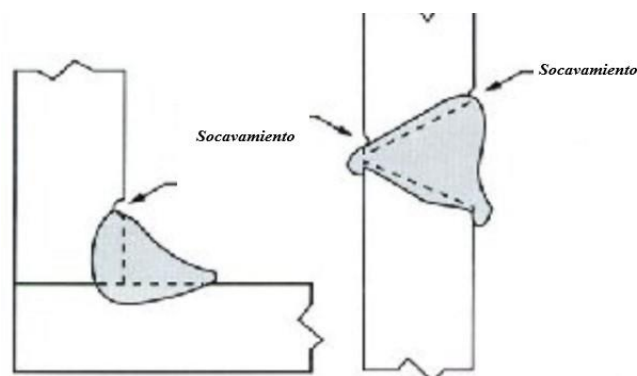
Nota. La ilustración representa la porosidad que se puede generar después de realizarse la soldadura en el metal. Tomado de (Henderson, 2020).

Falta De Penetración. Se produce cuando no hay una separación suficiente para que la soldadura ingrese a las ranuras adecuadamente. (American Welding Society, 2016). La **Ilustración 4** muestra la falta de penetración.

Ilustración 4*Falta de penetración*

Nota. La ilustración representa el problema cuando la suelda no alcanza la penetración deseada. Tomado de(Camposado, 2014).

Socavamiento. Se da cuando se coloca la soldadura. Ocurre durante el proceso de soldabilidad, esto causa que las paredes laterales del material base se disuelva, durante la inspección visual es posible identificar esta patología y la misma se puede corregir con abrasión (American Welding Society, 2016). Se observa el daño en la

Ilustración 5.**Ilustración 5***Socavamiento del metal*

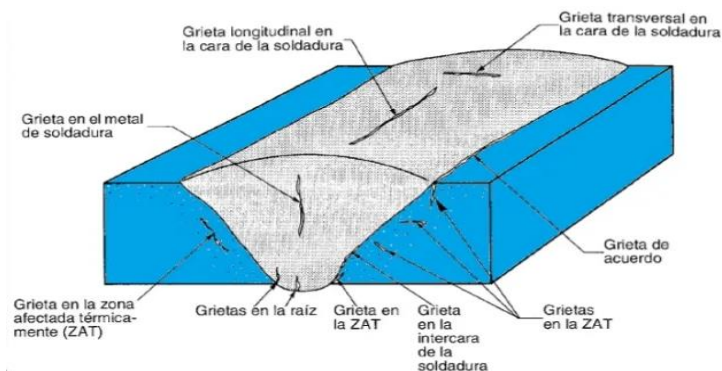
Nota. La ilustración representa como el metal base pierde parte de su sección debido a que empieza a diluirse por la colocación inadecuado de la suelda y causa el socavamiento. Tomado de (Universidad de Santiago de Chile, s. f.).

Grietas o fisuras. Es el resultado del agrietamiento, se encuentra en el metal base, metal de soldadura (American Welding Society, 2016). Se puede ver el daño en la

Ilustración 6.

Ilustración 6

Grietas en la soldadura



Nota. La ilustración representa el problema cuando la suelda no alcanza la penetración deseada. Tomado de (Camposado, 2014).

Sobreesfuerzos. Son causados por la reducción en la sección compuesta, pérdida en el sistema de arriostramiento o producto de fallas en los apoyos (American Welding Society, 2016).

Defectos adquiridos. Es el conjunto de fisuras o imperfecciones que altera la seguridad estructural del puente. Los defectos que pueden originar es la exposición del acero de refuerzo, elementos estructurales deformados y (American Welding Society, 2016):elementos de apoyo dañados.

Grietas Y Fisuras En Hormigón. En el Hormigón “Las fisuras de flexión son las que se sitúan generalmente en la zona central del claro, incluyendo las zonas llamadas de momentos nulos”. Debido a las fuerzas cortantes se puede producir agrietamientos junto a los apoyos y pueden variar dependiendo de la circulación en el puente y en función del gradiente térmico (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012).

En la mayoría de los casos las grietas y fisuras se dan por el incremento de la capacidad del tránsito, sin embargo, puede producirse por otras circunstancias como: un diseño deficiente que cause pandeo en los elementos, al uso de materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas, un mal vibrado del hormigón, así como su curado y fallo en las cimentaciones (asentamientos) (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012), La **Ilustración 7** muestra el agrietamiento del hormigón.

Ilustración 7

Grietas y fisuras en el hormigón



Nota. La ilustración muestra el agrietamiento en una estructura de hormigón. Tomado de (Rtarquitectura, 2022).

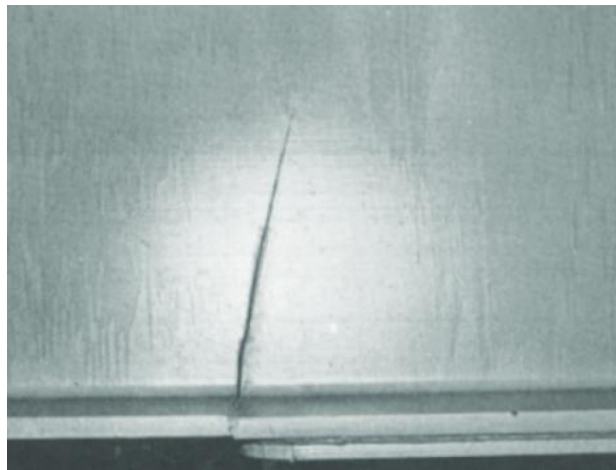
Grietas Y Fisuras En Acero. Las grietas en los materiales metálicos se producen por diversas causas, por ejemplo:

- Por exceso de carga.
- Un diseño inadecuado.
- Por la fatiga del material.
- Por un material de mala calidad

La aparición de fisuras en los materiales es motivo de preocupación, pues significa que hay un problema existente, el cual es necesario arreglar. Para observar el daño se puede ver la **Ilustración 8**.

Ilustración 8

Grietas en elementos de acero



Nota. La ilustración representa las fisuras que se pueden generar en los elementos metálicos. Tomado de (Asociación Latinoamericana del Acero, 2018)

Eflorescencias

Esta patología se origina debido a la humedad en los elementos, es decir los materiales contienen sales solubles que al entrar en contacto con agua son llevadas hacia el exterior y se cristalizan en la superficie del material, se caracteriza por su color de aspecto blanquecino. El daño se puede observar en la **Ilustración 9**.

Ilustración 9*Eflorescencia en el hormigón*

Nota. La ilustración muestra las marcas que puede dejar la eflorescencia en el hormigón. Tomado de (Pure Planet Science & Technology, s. f.)

Exposición de acero

Existe una exposición del acero cuando la altura del concreto de recubrimiento no es suficiente, por lo que se origina un debilitamiento de la resistencia del elemento estructural y podrá producirse corrosión y causar daños graves a la estructura. El resultado de esta corrosión hace que el volumen del acero aumente y ejerza presión interna, la cual causa el descascaramiento del hormigón.

En la normativa AASHTO especifica que el grosor mínimo para el concreto de refuerzo debe ser de 178 mm.

Corrosión

Esta patología es común en las estructuras de acero y hierro, origina esfuerzos a tracción en el material por lo tanto resulta una disminución de la sección transversal del elemento (Vázquez, 2018).

Además, cuando el refuerzo de acero se corroe afecta la capacidad estructural como es el caso: en vigas a flexión a partir de un 1,5 % de corrosión la resistencia empieza a disminuir y con una corrosión de 4,5 %, la capacidad última de la viga se reduce aproximadamente 12 % (Vázquez, 2018).

En los elementos de acero se puede identificar las siguientes clases de corrosión:

Corrosión Superficial. Este daño ocurre en la superficie del elemento causando reducción de la sección transversal del mismo, la corrosión gasta de manera sucesiva al material y se extiende sobre toda la superficie metálica (Vázquez, 2018), se puede observar el daño en la **Ilustración 10**.

Ilustración 10

Corrosión superficial



Nota. La ilustración muestra las marcas que puede dejar la eflorescencia en el hormigón. Tomado de (Grupo Decasa, 2019).

Corrosión Por Picadura. En este caso el daño se da en un lugar pequeño de la estructura y a la vez avanza hacia el interior del elemento ocasionando esfuerzos locales en la estructura por lo que ocasiona falla por corrosión bajo tracción en la estructura (Vázquez, 2018), se puede observar el daño en la **Ilustración 11**.

Ilustración 11

Corrosión por picadura



Nota. La ilustración muestra la pérdida de material debido a la corrosión por picadura. Tomado de (Merus, s. f.).

Corrosión Por Hendiduras. Se origina con la fricción que genera el roce de dos metales de la misma clase que poseen una separación menor a un milímetro como, por ejemplo, placas de refuerzo, etc. Además, puede resultar con la hinchazón en el material produciendo una fuerza de desgarro que causan daños en los elementos. (Vázquez, 2018), el daño se observa la **Ilustración 12**.

Ilustración 12

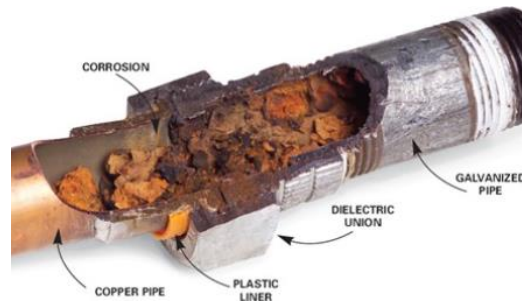
Corrosión por hendidura



Nota. La ilustración muestra el daño que ocasiona la corrosión por hendidura. Tomado de (Espejo, 2014).

Corrosión Galvánica. Es el producto cuando dos tipos de diferentes aceros entran en contacto entre sí, como uniones soldadas, pernadas o remachadas. Para generar el resultado de corrosión galvánica deben estar presentes elementos, sustancias o materiales que posean electrolitos y que transfieran electricidad, para producir una reacción catódica (Marcela Vázquez, 2018).

Se suele colocar aislamientos entre los metales como medida protectora ya que proporciona el revistiendo a un metal o ambos metales (Vázquez, 2018), el daño se observa en la **Ilustración 13**.

Ilustración 13*Corrosión galvánica*

Nota. La ilustración muestra el daño que ocasiona la corrosión galvánica. Tomado de (Espejo, 2014).

Corrosión Por Esfuerzo. Esta patología afecta a puentes colgantes y atirantados, es una falla que da origen a la fisuración en los elementos estructurales que sufren de grandes esfuerzos y están bajo la acción de factores ambientales agresivos. La corrosión por esfuerzo es fácil de identificar en las juntas de expansión, conexiones, tirantes.

(Vázquez, 2018), el daño se puede observar en la **Ilustración 14**.

Ilustración 14*Corrosión por esfuerzo*

Nota. La ilustración muestra el daño que ocasiona la corrosión por Esfuerzo. Tomado de (García, 2016).

Accidentes

Los accidentes pueden cambiar el comportamiento de la estructura debido a que pueden ocasionar fisuraciones no controladas, reducción en los elementos que sufren el daño o accidente de manera directa.

Fatiga. Es el resultado de la acción de cargas cíclicas, dinámicas o variables sobre un elemento estructural, lo que provoca una gran variación de tensiones cíclica, generando el inicio de las grietas y su propagación, que al alcanzar un tamaño crítico causa el fallo del elemento o el colapso de la estructura (Andrade et al., 2015; Domínguez, 2018; Iñigo, 2014).

La fatiga puede generarse con carga aún más pequeñas que las cargas constantes para las que esta la estructura, ya que puede definirse como un cambio progresivo y localizado, que después de un número determinado de fluctuaciones empieza a fracasar, inicia con la aparición de grietas y posterior fractura del elemento (Andrade et al., 2015; Domínguez, 2018; Iñigo, 2014).

Se producen de forma repentina y rápida, el limitante para prevenir la fatiga es que las cargas fluctuantes varían, lo que afecta los ciclos que puede soportar la estructura, ya que puede ir de decenas (como el caso de un alambre fino o de diámetro muy pequeño, que para ocasionar su rotura se lo dobla alternadamente de un lado a otro y termina por fracturarse), hasta miles o millones de ciclos, sin embargo, hay materiales que tienen un límite de fatiga del material (Andrade et al., 2015; Domínguez, 2018; Iñigo, 2014). El daño es similar a lo observado en la **Ilustración 8**.

Las características o parámetros a considerar son la composición del material (sus características) y el nivel de las cargas, el ambiente como la temperatura, geometría del elemento, tamaño, entre otros parámetros (Andrade et al., 2015; Domínguez, 2018; Iñigo, 2014).

En las estructuras antiguas se puede controlar o disminuir la anomalía producida por la fatiga, para ello, como solución es reducir la carga viva y toda carga variable, además, se puede aumentar la sección transversal del elemento estructural (Andrade et al., 2015; Domínguez, 2018; Iñigo, 2014).

Causas Externas

Loa factores externos como altas temperaturas, vientos fuertes provocan la corrosión del hierro y el acero. En el proceso de diseño se debe tomar en cuenta daños como: incendio, explosiones, colisiones y colapso progresivo (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012). Los daños que se producen son similares a los que se presentan de la **Ilustración 10** a la **Ilustración 14**.

Defectos En Tableros

En tableros de concreto se generan desgaste, descascaramiento, grietas producto de los esfuerzos de tracción, corrosión en la armadura de esfuerzo y daños por contaminación química (Muñoz & Gómez, 2011). El defecto se puede observar en la **Ilustración 15**.

Ilustración 15

Desgaste y descascaramiento



Nota. La ilustración muestra el daño que ocasiona el desgaste y descaramiento. Tomado de (tecyrsa, s. f.).

Defectos En Juntas

En las juntas se producen daños por causa de la colisión vehicular, acumulaciones de agentes externos como escombros, basura. Los factores antes

mencionados originan desplazamiento, en los anclajes que sean removidos en su totalidad (Muñoz & Gómez, 2011).

Defectos En Apoyos

Los apoyos metálicos son aquellos que, por la corrosión, acumulación de basura se convierten en elementos inoperativos, por otro lado, los elementos se pueden ver afectados por: el agrietamiento de la soldadura, oxidación y posterior corrosión sobre el área del elemento, dimensiones inadecuadas de las juntas, y otros (Muñoz & Gómez, 2011).

Otros Defectos

Se definen como aquellos daños producto de las alteraciones usuales en las estructuras como la falta de mantenimiento, provocando anomalías en diferentes sectores de la estructura como: pilares, péndolas, cables principales, conexiones y otros.

Falta De Inspección Y Mantenimiento. La inspección y mantenimiento periódico ayuda a determinar daños los elementos estructurales puente, con el objetivo de mitigar los mismos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2017).

Alteración En Su Uso. En las estructuras el mayor problema es el uso inadecuado para las cuales fueron proyectadas, lo que genera una sobrecarga en los elementos estructurales (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2017).

Patologías En El Hormigón Armado.

Son todos los daños producto de las fallas, por lo que se debe analizar la superficie específica para determinar los motivos las ocasionaron y proponiendo acciones correctivas (Brian Cortes Henao & Katherin Perilla Morales, 2017; Loustaunau & Poppolo, 2013).

Las patologías se presentan de diferente manera como la aglomeración de grava, desprendimientos del hormigón, reduciendo la sección transversal de los elementos, y

problemas durante el proceso de construcción como el insuficiente vibrado del hormigón. Esto se produce por una mala impermeabilización inadecuada, falta o deterioro de recubrimientos en las armaduras.

Deterioro Del Concreto Endurecido Por Procesos Físicos

Un mantenimiento adecuado de las estructuras tanto acero como de concreto armado puede influir en la resistencia de los elementos frente a los esfuerzos a los que están siendo sometidos, también puede influir factores como una buena vibración, curado del hormigón adecuado, como un buen diseño de la relación agua/cemento

En la siguiente parte se describe los procesos físicos más importantes y que influyen en el deterioro del concreto (Juliana Gómez Echavarría & Eloy Eduardo Palacios Ramírez, 2011). El daño se observa en la **Ilustración 16**.

Ilustración 16

Mal vibrado del hormigón



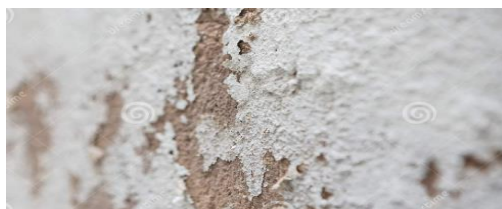
Nota. La ilustración muestra el daño que se produce por un mal vibrado. Tomado de (Catalá, 2014).

Agrietamiento y Erosión. Estas patologías se producen por factores externos como es el caso: la variación de temperatura, contracción por falta de hidratación, acciones mecánicas como el tráfico de vehículos (Juliana Gómez Echavarría & Eloy Eduardo Palacios Ramírez, 2011):

Abrasión. se produce por la acción mecánica de rozamiento y desgaste (Juliana Gómez Echavarría & Eloy Eduardo Palacios Ramírez, 2011). En la **Ilustración 17** se observa el daño.

Ilustración 17

Abrasión



Nota. La ilustración muestra el resultado de la abrasión en el hormigón. Tomado de (Dreamstime, 2022).

Cavitación. Este daño produce secuelas en forma de picaduras, para tratar esta patología es importante impedir su progreso para mitigar el daño estructural (Juliana Gómez Echavarría & Eloy Eduardo Palacios Ramírez, 2011). Se observa el daño en la **Ilustración 18.**

Ilustración 18

Daño por cavitación



Nota. La ilustración muestra el resultado de la Cavitación en el hormigón. Tomado de (Masters, 2013).

Desgaste Del Concreto Endurecido Mediante Sucesiones Biológicas. Se define como los daños biológicos en los iones del concreto, provocado por factores externos como los residuos de la población, por lo que altera la resistencia y durabilidad del concreto.

Los agentes biológicos más comunes que se pueden encontrar dentro de una obra son: aguas residuales, abonos naturales que están en contacto directo con el concreto (Alejandra & Barreto, 2020). El daño se observa en la **Ilustración 19**.

Ilustración 19

Concreto con aguas residuales



Nota. La ilustración muestra el resultado de la circulación de sustancias biológicas en el hormigón como aguas residuales. Tomado de (Inmage Lab, 2022).

Desgaste ligero del concreto endurecido. Se define como todos agentes que alteran el aspecto estético del miembro estructural como: eflorescencias, acumulación de polvo, entre otros (Juan Diego Correa Chaparro & Giuseppe Luigi Ratti Guzmán, 2015).

Cimentaciones Socavadas.

Los cimientos se ven afectados por factores como: acción continua del agua, inundaciones, dimensiones inadecuadas en los cimientos (Sandra Verónica Durán Yazuma & Cristina Quishpe Coro, 2009). La **Ilustración 20** se muestra el daño.

Ilustración 20*Daños debido a la socavación de la cimentación*

Nota. La ilustración muestra el resultado de la socavación. Tomado de (Bianco, 2006).

Muros Y Estribos Con Deslizamientos O Cabeceos.

Los muros y estribos de los puentes se ven alterados por los deslizamientos o cabeceos originados problemas constructivos como juntas, apoyos, y otros, además el incremento de cargas y deslizamiento de tierras (Sandra Verónica Durán Yazuma & Cristina Quishpe Coro, 2009). En la **Ilustración 21** se muestra el deslizamiento del estribo derecho provocando una inclinación.

Ilustración 21*Inclinación de estribo en el margen derecho*

Nota. La ilustración muestra el resultado de la socavación. Tomado de (Altamirano & Dávalos, 2013).

Capítulo IV – Inspecciones

Inspección

La manera de obtener datos exactos sobre la condición actual de un puente y evaluar sus elementos, es llevando a cabo un programa de inspección. Las inspecciones son la única fuente que detallan los daños y evaluación del estado funcional de la estructura, por ello, se deben realizar de una forma minuciosa, ordenada y sistemática, debido a que de estas anotaciones dependen las recomendaciones para el mantenimiento, reparación, refuerzo o sustitución de la estructura (Fernando & Cruz, 2007).

Tipos De Inspecciones

Según el manual para la evaluación de la condición de puentes AASHTO (2018), existen 5 tipos principales de inspección para la evaluación de un puente: iniciales, rutinarios, por fallos o anomalías (daño), a fondo e inspecciones especiales. Para seleccionar la inspección correcta que se debe realizar, está en función no solo del acceso o procedimiento que se efectúa, sino también de la complejidad y deficiencia de la estructura y de otros aspectos relacionados, así mismo, en varias situaciones se puede requerir que se hagan varios tipos de inspecciones con el uso variado de metodologías (Fernando & Cruz, 2007).

Inspecciones Iniciales

Las inspecciones iniciales son una ficha detallada que se realiza a una estructura nueva, reconstruida, o que ha obtenido un cambio en su estructura, consiste en tener en archivo el inventario que posee el puente, lo que incluye localización, largo, ancho, capacidad de carga, etc. Y son una base para las futuras inspecciones posteriores que se puedan realizar (Altamirano & Dávalos, 2013; Fernando & Cruz, 2007).

Las inspecciones iniciales tienen la finalidad de verificar y detallar la línea base de la condición del puente con toda la información relevante requerida, además, de la identificación de problemas iniciales y detección de sitios con potenciales complicaciones que puedan llevar al colapso de la estructura. En síntesis, las inspecciones iniciales tienen como objetivo dar la seguridad del puente antes de dar el acceso al público (Altamirano & Dávalos, 2013; Fernando & Cruz, 2007).

En cuanto a la recurrencia de este tipo de inspecciones, se dan al término de la construcción de un puente nuevo, cada vez que se haga algún cambio en la estructura (ensanchamientos, alargamientos, localización, refuerzos) (Altamirano & Dávalos, 2013; Fernando & Cruz, 2007).

Inspecciones Básicas Rutinarias

Se trata de inspecciones realizadas por el técnico encargado, que no es necesariamente un especialista en el ámbito estructural pero que sí posea noción de características básicas sobre el tema, se llevan a cabo mediante fichas adjuntas que detallen los daños que pueden acarrear complicaciones a gran escala en el futuro (Pecho, 2017).

Las inspecciones de rutina son programadas de una manera periódica y en cada una de ellas se detallan las condiciones físicas de la estructura y su funcionamiento, enfocadas en el tablero, las torres de sustentación, cables y barandas, el enfoque que tiene sobre la cimentación se encuentra limitada a días de caudales mínimos o presencia de socavación (hundimiento en los apoyos), en cuyo caso se debe tener en cuenta el uso de equipo especial como andamios, accesorios que permitan el análisis bajo el puente (Altamirano & Dávalos, 2013; Carrera, 2021; Fernando & Cruz, 2007).

Todo el análisis debe detallar más las estructuras o elementos estructurales que se hayan determinado como críticos en el diseño del puente, ya que, si estos elementos

fallan, toda la estructura estará destinada al colapso, en la ficha deben incluir fotografías de los daños para evaluar el tipo de mantenimiento, por lo general, son inspecciones visuales, sin embargo, se puede llevar a cabo una evaluación de la capacidad de carga si se ha visualizado un cambio relevante en toda la estructura (Altamirano & Dávalos, 2013; Fernando & Cruz, 2007).

Con respecto a la frecuencia con la que se puede realizar, esta depende de ciertos parámetros que se ven especificados en la **Tabla 1**:

Tabla 1

Intervalo de inspecciones

Intervalo Máximo	Descripción del Puente
24 meses	• Puentes sin restricciones de peso
	• Puentes cerrados
	• Puentes y estructuras que no están en autopistas
12 meses	• Puentes con restricciones de peso.
	• Puentes que tengan componentes sin fractura crítica en superestructuras, subestructuras o alcantarillas.
	• Puentes que tengan superestructuras de fractura crítica en puentes con ensamblaje del soporte colgante suspendido y la zona en tracción de la trabe
6 meses	• Puentes que tengan superestructuras de fractura crítica es decir que tengan zona en tracción del tramo interior de la trabe.
	• Cualquier puente o estructura temporal soportes temporales o cimbras (andamiaje).

Nota. El intervalo expuesto se obtiene de Bridge Safety Inspection Manual

Además, con la información recolectada de las anomalías existentes en los puentes permite elaborar un plan económico de las actividades de protección o corrección que se realizara el siguiente año a la estructura.

Inspección Por Daños

Las inspecciones de este tipo se realizan para evaluar el daño generado por la acción de agentes externos, ya sea por efecto de un temblor, terremoto, inundación o acciones humanas como golpes, o accidentes de tránsito, no son planificadas o programadas, muchas de las veces se pueden tomar como una inspección especial dependiendo del nivel de daño que se haya generado (Altamirano & Dávalos, 2013; Fernando & Cruz, 2007).

El propósito de esta inspección es verificar la seguridad del puente después de del evento suscitado, detallar si existe pérdida de secciones, desalineamientos de la estructura, daños o problemas con los cimientos, el análisis debe tener el alcance suficiente para determinar restricciones de carga o cierre del puente en caso de ser necesario (Altamirano & Dávalos, 2013).

Por lo general, se suele hacer una inspección a fondo después de este tipo de inspecciones para complementar cualquier otro daño pasado por alto durante la inspección. El propósito de estas inspecciones es determinar la oportuna colocación de restricciones de emergencia para evitar el colapso de la estructura o afecciones humanas que transitan por el puente. Con respecto a la frecuencia con la que se realizan las inspecciones por daño depende del tipo de eventos que se susciten, y las recurrencias de los mismos (Fernando & Cruz, 2007).

Inspecciones A Fondo O Profundas

Las inspecciones profundas son un análisis visual el cual inspecciona toda la estructura (subestructura, superestructura, elementos accesorios), de una manera minuciosa y detallada, que permite evaluar deficiencias del puente que no se ven fácilmente en las inspecciones de rutina, se pueden limitar a elementos que ya existen

daños como complemento de otras inspecciones, o incluir toda la estructura como una inspección independiente (Altamirano & Dávalos, 2013; Fernando & Cruz, 2007).

Tienen como propósito el detallar los daños que son difíciles de encontrar con las inspecciones de rutina, ya que, al ser más minuciosas y precisas, son capaces de encontrar mayores deficiencias en la estructura. Con respecto a su frecuencia, pueden ser programadas con un plazo mayor a las inspecciones de rutina, y planeada para que se realicen después de otras inspecciones para complementar el análisis y tener mejor perspectiva del estado o condición física del puente (Altamirano & Dávalos, 2013; Fernando & Cruz, 2007).

Un intervalo sugerido por la Bridge safety inspection manual se especifica en la

Tabla 2:

Tabla 2

Intervalo en caso de inspección profunda

Intervalo sugerido	Tipo de puente	
10 años	Puentes de fractura crítica con cualquier FMC en condiciones normales	Tramos de miembros de fractura crítica menores a 150 pies debe ser cubiertos por inspecciones de rutina
	Puentes sin fractura crítica de longitudes mayores a 500 pies o 153 metros de longitud con superestructuras en malas condiciones	
15 años	Puentes de fractura crítica con todos los FMC en buenas condiciones	
	Puentes redundantes, sin fractura crítica de longitudes menores a 500 pies o 153 metros de longitud	

Nota. El intervalo expuesto se obtiene de Bridge Safety Inspection *Manual*

Inspección Especial

Son inspecciones que se realizan mediante ensayos destructivos, semi destructivos o no destructivos, dependiendo del nivel de funcionamiento del puente, o del deterioro que posee el mismo para obtener una caracterización cuantitativa del puente, se llevan a cabo antes de las reparaciones o rehabilitación de la estructura, el especialista a cargo debe poseer conocimientos en estructuras, geotecnia y deterioro de los materiales (Pecho, 2017).

Frecuencia De Las Inspecciones

Los elementos estructurales del puente deberán ser inspeccionados en intervalos regulares para de esta manera garantizar una estructura segura para el tráfico vehicular o peatonal. Por lo que es importante tomar en cuenta aspectos como; edad de la estructura, TPDA, tamaño, deterioro (Gómez, 2015).

Personal De Inspección. O Requisitos Y Obligaciones Del Personal De Inspección.

Las inspecciones lo realizarán personal con requerimientos mínimos como:

Jefe De Programa De Inspección

La persona encargada deberá de realizar los reportes e inventarios de la estructura evaluada. Además, deberá tener conocimientos básicos acerca de ingeniería estructural: diseño, cargas, reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento y de esa manera establecer los problemas en los componentes del puente y determinar las acciones pertinentes para remediar la estructura (Gómez, 2015).

Líder De Equipo De Inspección

Es la persona a cargo de planear, preparar y llevar a cabo de una manera adecuada la inspección (Gómez, 2015).

Planificación Y Programación

Planificación

Para que la inspección sea exitosa se deberá tener una planificación eficaz y segura para ejecutar la respectiva supervisión, por lo que se deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones para una planificación (Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006):

- Realizar una ficha de inspección.
- Determinar el equipo y herramientas a ser usadas durante la inspección.
- Identificar los elementos estructurales con patologías basándose en informes anteriores.
- Programar las horas necesarias para el trabajo a ejecutar en campo y de ser necesario.
- Tomar decisiones acerca de los ensayos a realizar según el deterioro en el elemento estructural.

Programación

Es importante realizar la inspección en climas de condiciones favorables para de esta manera obtener datos con mayor precisión de la inspección. Si se desea establecer las exigencias de conjunto de actividades para el mantenimiento y otorgar recomendaciones practicas adecuadas, para reparar las deficiencias o controlar el incremento de estos defectos se debe realizar una inspección bien documentada (Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006).

Procedimiento De La Inspección

Para tener una inspección completa es importante desarrollar una secuencia para el plan de inspección, para ello se recomienda seguir los pasos mostrados a continuación (Gómez, 2015; Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006):

- Realizar un croquis para indicar la información de la estructura como; ubicación, nombre del río, tipo del puente.
- En campo realizar tomas fotográficas de la vista frontal, lateral y otros del puente, es importante especificar la fecha y hora de las fotos.
- El técnico en la inspección visual deberá de verificar cada uno de los elementos y determinar las anomalías presentes.
- En la ficha correspondiente se debe registrar cada uno de los daños, además fotografiar los mismos para plasmar en la ficha de imágenes de daños.
- Finalizada la inspección visual el profesional deberá de generar un informe detallando el estado de la estructura y en lo posible especificar los ensayos correspondientes para una evaluación con mayor precisión.

Fichas Técnicas De Inspección Y Evaluación De Puentes

Fichas De Inspección

Las fichas de inspección son documentos que tienen como objetivo recopilar la información del puente, los modelos son de acuerdo a los datos e información requerida, es decir, estarán compuestos por parámetros necesarios que sirva para identificar daños, sobre los elementos estructurales así mismo longitudes, la geometría del elemento, sus propiedades del puente.

Posteriormente se detalla el contenido de cada una de las fichas, las fichas del uno al seis contienen datos e información general del puente y los siguientes sirven para para el registro de inspección de puentes.

Ficha técnica 1: Características generales

La ficha contiene características generales que sean necesarias, es decir, dirección de la vía, tipo de puente, luz total del puente, diseño utilizado en la memoria de cálculo (en caso de tener la información), número de tramos, fecha del último

mantenimiento, servicios públicos, pavimento, tráfico promedio diario y el condicionamiento vehicular. La segunda parte describe las medidas. La tercera parte trata sobre los informes de inspección y la cuarta parte describe los procesos de rehabilitación ejecutados en la estructura, tal como se observa en la **Tabla 3**.

Tabla 3

Características generales

INVENTARIO BASICO DE PUENTES					
Fecha:					
Inspeccionado por:					
Vehicular/peatonal:					
N° tramos:					
Comentarios:					
Identificación del puente					
Nombre del puente:				Parroquia:	
Provincia:				Temperatura:	
Cantón:				Tipo de infraestructura:	
Año de construcción:				Año de reconstrucción:	
N° de carriles:				constructor:	
Longitud del puente:				ancho del puente:	
Información geométrica					
Pavimento		Vigas transversales		Vigas longitudinales	
Espesor (mm):		N° de vigas:		N° de vigas:	
Ancho (m):		Sección (mXm):		Sección (mXm):	
Longitud (m):					
Torre de sustentación		Cable		Péndola	
Altura columna(m):		Diámetro:		Diámetro:	
Sección columna (mXm):		N° de cables:		Espacio entre péndolas:	
				N° de péndolas:	

Longitud viga (m):		Anclajes		Tensores	
Sección viga (mXm):		Nº de anclajes:		Nº de tensores:	
Baranda					
Altura de baranda (m):		Longitud de la baranda (m):			
Zapatatas					
Profundidad (m):		Ancho (m):		Largo (m):	
Anclajes					
Profundidad (m):		Ancho (m):		Largo (m):	
Antecedentes de inspección:					
Antecedentes de rehabilitación:					

Ficha técnica 2: Detalle de superestructura

La ficha tiene como objetivo detallar la superestructura, debe detallar los datos de cada elemento estructural. Además, es importante el tipo de material de las vigas longitudinales y transversales, el modelo de superestructura, la luz de los vanos, dimensiones de la viga. Ver **Tabla 4**.

Tabla 4

Detalle de superestructura

Logotipo de la institución o empresa que realiza la inspección	FICHA DE INSPECCIÓN		
	“INSPECCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA”		
Evaluador:		Fecha/Hora:	
Tipo de			

superestructura:						
Elemento	Descripción					Comentario
Superficie de rodadura						
Viga longitudinal						
Viga transversal						
Sistema de arriostramiento						
METRADOS						
Metrado Elemento	longitud (m)	N° de elementos	Ancho	área	Unidad	Detalle:
Pavimento						
Viga longitudinal						
Viga transversal						
Sistema de arriostramiento						

Ficha técnica 3: Detalle de subestructura

La información de toda la subestructura debe de ser descrita en este formulario, incluye, descripción del elemento, características del material, existencia de los apoyos, la forma, si posee algún reforzamiento y su análisis del Metrado. Ver **Tabla 55**

Tabla 5

Detalle de subestructura

Logotipo	FICHA DE INSPECCIÓN		
	“INSPECCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA”		
Evaluador:		Fecha/ Hora:	

Elemento	Descripción		Comentario				
Péndola							
Cable principal							
Torre de sustentación (Viga de rigidez)							
Torre de sustentación (columna)							
Anclajes							
Zapatas							
METRADOS							
Elemento	Metrado	longitud (m)	N° de elementos	Ancho	área	Unidad	Detalle:
Péndola							
Cable principal							
Torre de sustentación (Viga de rigidez)							
Torre de sustentación (columna)							
Anclajes							
Zapatas							

Ficha técnica 4: Detalle de accesorios

En la ficha actual, se detalla la información de seguridad que posee la estructura, como letrero de señalización, tachas de iluminación, barandas. También se incluye el tipo de conexiones que existen en la estructura como soldadura remaches, pernos, galápagos, candados, tensores. Detalle de ficha ver **Tabla 6**:

Tabla 6

Detalle de accesorios

Logotipo	FICHA DE INSPECCIÓN					
	“INSPECCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA”					
Evaluador:		Fecha/Hora:				
Elemento		Descripción				Comentario
Conexiones						
Pasamanos o protección						
METRADOS						
Metrado Elemento	longitud (m)	Nº de elementos	Ancho	área	Unidad	Detalle:
Conexiones						
Pasamanos o protección						

Ficha técnica 5: planos

En el caso de acceder a los planos constructivos es importante que el técnico escanee y almacene en esta ficha técnica. En el caso de que la entidad a cargo como el ministerio de transporte y obras públicas no tenga algún plano se puede reconstruir la planimetría del puente en general detallando componentes de la losa, altura de la subestructura, y otros datos importantes que sirvan al momento de realizar una evaluación estructural. Ficha técnica observar **Tabla 7**:

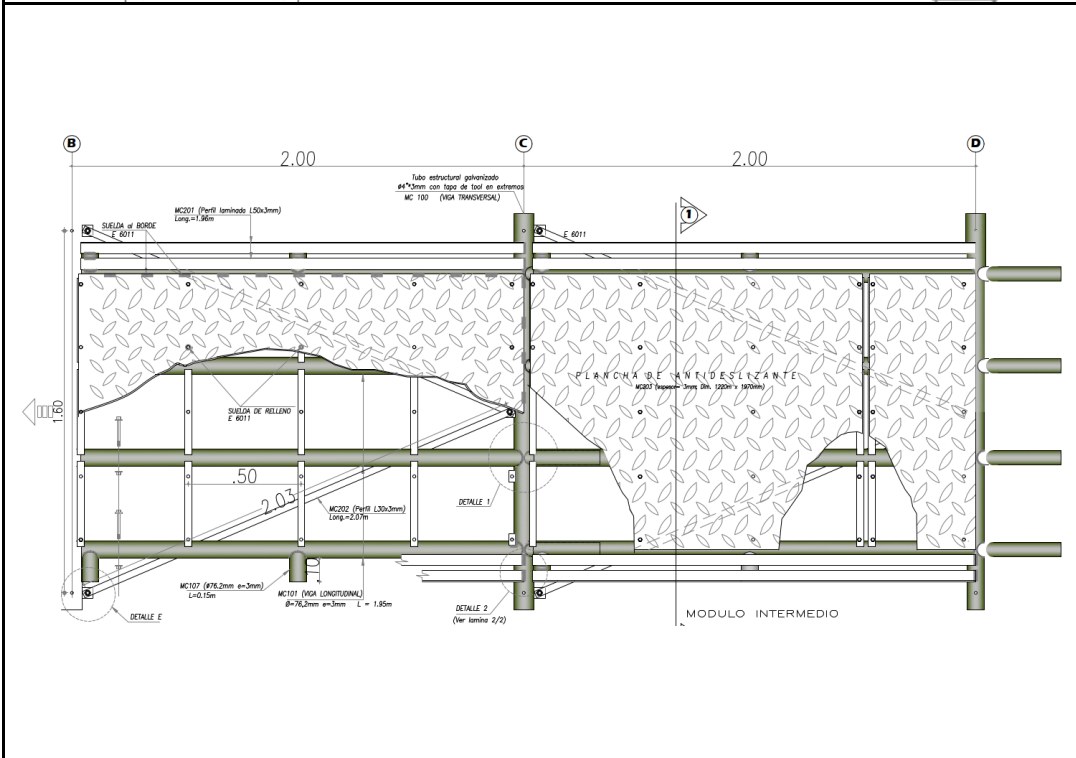
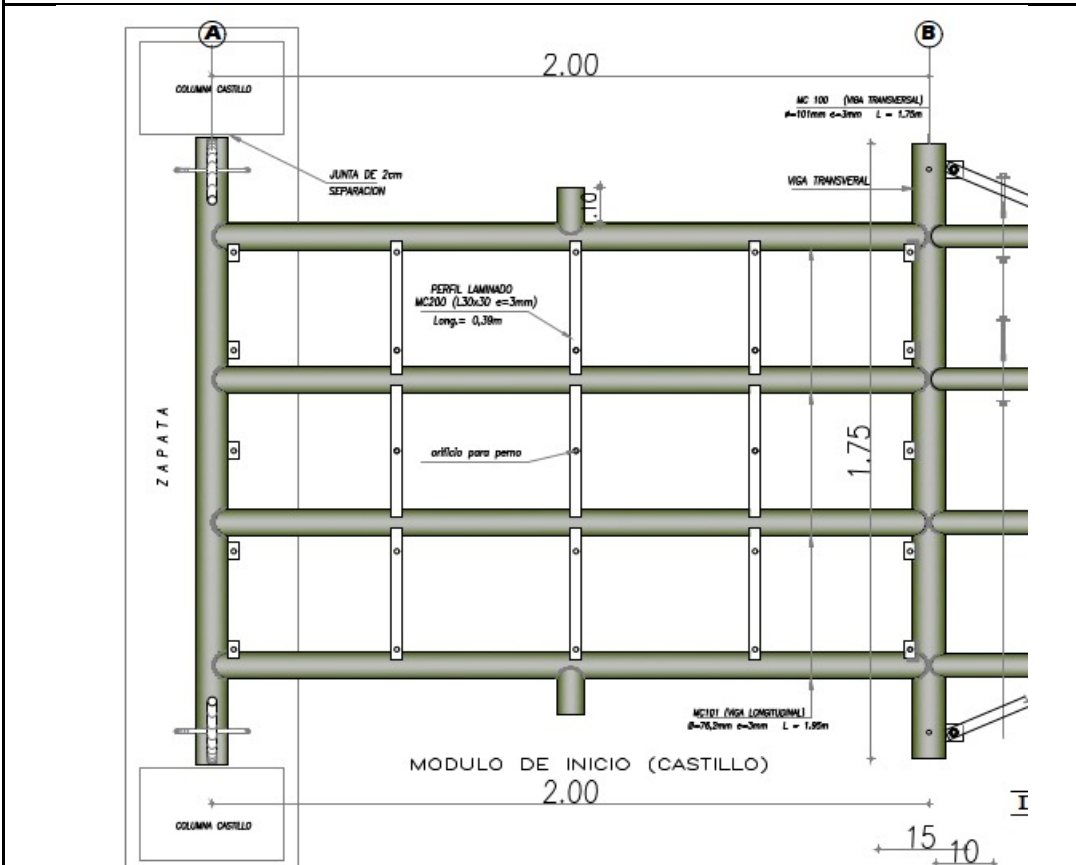
Tabla 7

Planos

Logotipo	FICHA DE PLANOS	
	“INVENTARIO DEL PUENTE PLANOS”	

Evaluador:		Fecha/Hora:

DETALLE DEL TABLERO



Nota. Información tomada del gobierno autónomo descentralizado provincial de Zamora Chinchipe

Ficha técnica 6: Fotografías

En la inspección se debe realizar tomas fotográficas claras que representen de las partes de la estructura, mismas que proporcionan información para el mantenimiento y deben de ser almacenadas dentro de los datos de inventario.

A continuación de se describe las fotografías que deben estar presentes en el momento de la recopilación de estas:







1. Tomar una fotografía del rotulo con el nombre del puente, al no existir el inspector deberá de realizar una anotación y fotografiar la misma.
2. Registro fotográfico de la vía, es decir fotografiar la superficie de rodamiento.
3. Fotografía donde se capture toda la estructura, indicando las condiciones de las partes del puente.
4. La vista lateral se debe fotografiar para capturar el tipo de viga principal.
5. Fotografía de toda la subestructura del puente.
6. Fotografía donde se muestre la vertiente del río
7. Fotografiar de manera clara las señales de restricción de peso, altura máxima y entro otras, mismos datos se pueden adjuntar en el cuadro de rotulo del nombre.

Ficha de fotografías ver **Tabla 8**:

Tabla 8

Fotografías

Ejemplo de fotografías de la estructura	
Nombre del puente	Fotografía de la vía

<p>ROTULO DEL NOMBRE DEL PUENTE</p>  <p>Puente Akashi Kaikyo MegaConstruccion</p> <p><small>Nombre: Manlio Ponce Municipio: Tepecosco Silvio Sotelo Direccion: Villavieja Barrios Carretera: Ing en construccion Fecha: 2012/10</small></p>	
<p>Vista general</p>	<p>Vista lateral</p>
	
<p>Vista inferior</p>	<p>Vista cauce del rio</p>
	

Nota. Las fotografías son de autoría propia

Ficha técnica 7: Inspección de puente grado de daño

En la ficha de inspección se debe describir el grado de afección, la calificación permite la proyección de las reparaciones necesarias a los elementos y es importante que cuando se realiza la inspección posterior se debe renovar la ficha con los nuevos detalles. Ficha técnica de patologías observar

Tabla 9:

Se recomienda evaluar los miembros del puente de la siguiente manera:

- Cimientos
- Superestructura
- Subestructura
- Accesorios

Ficha técnica 8: Inspección de puentes registro fotográfico de daños

Las fotografías corresponden a las condiciones de anomalías registrado en la ficha anterior, además se debe capturar los elementos con mayor deterioro y problemas estructurales inusuales, peligrosos, o pobremente reparados

A continuación, se ejemplifica como debe de ser el registro fotográfico:






1. Las péndolas: se debe fotografiar la superficie donde se determine el mayor grado de aseveración.
2. Cables principales: se debe capturar a lo largo del cable el daño más sobresaliente.
3. Fotografía clara para identificar las anomalías del tablero, miembros principales (vigas)
4. Las pilas del puente: identificar la socavación o erosión para fotografiar el daño.
5. En caso de existir alguna reparación previa sobre la superficie de rodadura, se debe verificar el ancho de la sobre capa y tomar fotografía de la actividad que especifique la reparación.
6. Agregar fotografías de las anomalías como: deformaciones o perdida de algunos elementos.

Ficha de patologías ver **Tabla 10**:

Tabla 10

Fotografía de daños

Ejemplo de fotografías de la estructura	
TABLERO	TORRES

	
CABLES	PENDOLAS
	
ANCLAJES	CIMENTACIÓN
	

Nota: Las fotografías son de autoría propia







Herramientas







Es necesario el uso de herramientas para facilitar la inspección en la siguiente tabla se muestran algunas de ellas (Gómez, 2015; Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006). Ver








Tabla 11:









Tabla 11

Herramientas

Actividad	Herramientas	Uso	Fotografía
Limpieza	Escoba	Herramienta para quitar polvo y escombros	
	Cepillo de acero	Para remover del acero la pintura y la corrosión.	
	Espátulas	Para remover la corrosión de la superficie de un elemento.	
	Desatornillador plano	Para la limpieza general y la investigación.	
	Pala	Para remover suciedad y escombros.	
Actividad	Herramientas	Uso	Fotografía
Inspección General	Cuchilla	Para tareas generales	

	Taladro de mano	Para la investigación de los elementos de madera	
	Cincelador	Para examinar la superficie del concreto	
	Plomada	Para medir la alineación vertical.	
	Cinturón de herramientas	Bolsa de herramientas para sostener herramientas pequeñas.	
Actividad	Herramientas	Uso	Fotografía
Inspección Visual	Binoculares	Para examinar a distancia	
	Lupa ligera	Para examinar de cerca las grietas.	

	Espejos de Inspección	Para inspeccionar áreas inaccesibles.	
Actividad	Herramientas	Uso	Fotografía
Medición	Cinta de medición	Para medir las dimensiones de elementos	
	Medidor de inspección óptica	Se utiliza para realizar una medición más exacta del ancho de grieta.	
	Nivel	Para medir las pendientes y hundimientos	
Actividad	Herramientas	Uso	Fotografía
Documentación	Dron	Para documentación visual	
	Libreta de campo	Apuntes de la geometría de la estructura.	
	GPS portátil	Se lo utiliza para establecer la ubicación de la estructura mediante coordenadas	

Actividad	Herramientas	Uso	Fotografía
Equipo de Seguridad	Cinturón y gancho de seguridad	Mantiene seguro al profesional de la inspección durante el trabajo en lugares altos.	
	Botiquín de primeros auxilios	Para actuar en caso de alguna emergencia	
	Casco	Para protección de la cabeza.	
	Chaleco	Para visibilidad del trabajador.	
	Radios	Para comunicación entre el personal de trabajo	
	Guantes	Par proteger las manos del contacto con diversos materiales	
	Botas	Para proteger los pies al caminar por lugar durante algún reconocimiento o trabajo.	
	Gafas	Para visual protección	

Nota. Las fotografías recuperadas de fuentes de internet

Acciones Para Detectar Daños Más Comunes

Se debe tener en cuenta los siguientes procedimientos que permitirán tener una inspección óptima, por lo que debe tener mayor enfoque en lo siguiente (Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006):

- Daños comunes como es agrietamiento, laminación, afloramientos, daños por colisión y sobrecarga.
- En el acero tomar nota de los daños comunes, tal como, corrosión, agrietamientos, daños por colisiones y sobreesfuerzos.
- En los tableros de acero es común encontrar oxidación, elementos corroídos, pérdida de sus conexiones como pernos faltantes y soldaduras agrietadas.
- En las placas de apoyo que contiene material elastomérico es común encontrar daños como: rompimiento, deslizamiento, y otros.

Directrices para inspeccionar los de deterioro del puente

Los diferentes elementos para inspeccionar serán agrupados en tres grandes divisiones:

Subestructura:

- Péndola.
- Cable Principal.
- Castillos y Estribo.
- Torres.
- Pilotes.
- Galápagos
- Cimientos.
- Vigas de rigidez.

- Anclajes.

Superestructura

- Tableros.
- Miembros principales
- Apoyos
- Elementos secundarios

Dispositivos básicos de protección.

- Barandas.
- Juntas de expansión.
- Iluminación
- Señalización
- Superficie de rodamiento

Inspección de Subestructura.

Péndola. Las péndolas no solo es necesario revisar si poseen algún daño si no que cumple con las especificaciones de normativa de construcción, para realizar la inspección se debe:

- Primero revisar si existe la presencia de corrosión u oxidación.
- Seguido se debe inspeccionar si se han desplazado las péndolas de su ubicación en el cable.
- No olvidar revisar si existe grietas y fisuras.
- También se debe revisar si están ajustadas o si tienen movilidad.
- Por lo general, se debe respetar el diseño estructural en la separación de las péndolas, pero el espaciamiento puede estar entre 0.5m a 7m como máximo.

Cimentación. No se puede evaluar la cimentación como tal debido a que se encuentra enterrada en el suelo, pero se puede encontrar daños generados por la cimentación y eso es lo que se debe verificar, para ello se puede revisar lo siguiente:

- En la inspección el técnico a cargo deberá de visualizar los estribos.
- Para inspeccionar los estribos se debe visualizar desde la parte superior e inferior del tablero.
- Un problema es el asentamiento y se visualiza con la deformación del tablero justo por encima del estribo.
- Otro problema son las grietas en los muros, fisuras, infiltraciones de finos por presencia de grietas.
- La vegetación enraizada, y otros defectos, además todos estos daños se detectan de manera indirecta debido a la inaccesibilidad del elemento, además las posibles fallas son debido a los movimientos excesivos o fisuras.
- Algunos de los defectos se relacionan con inestabilidad, infiltración y mal funcionamiento de los apoyos.

Cable Principal. En la inspección se debe visualizar la presencia de grietas, fisuras, corrosión y desgaste.

- Se debe revisar si el cable se ha arrancado a lo largo de todo el tramo.
- Se analiza si aún posee la protección de grasa apropiado.
- El desgaste es común por los esfuerzos de tracción.
- Se debe revisar que el número de grilletes que sujetan al cable sean los apropiados de acuerdo al diámetro del cable.
- Se puede utilizar la normativa NTP 155: Cables de acero de España.

- En ella se especifica la cantidad de grilletes dependiendo del diámetro del cable y su forma, es decir, si se desea usar para unir el cable o formar anillos terminales.
- En la inspección se debe verificar que los grilletes estén colocados de forma correcta.
- La forma correcta es poner la parte del cable que soporta la tensión en la garganta del cuerpo de la abrazadera y el ramal que formará el anillo debe estar en la garganta del estribo del grillete.

Castillos y Estribo (Torres). durante la inspección evaluar si el recubrimiento de columnas y vigas estructurales, conexiones emperradas, presentan grietas.

- Las grietas deben inspeccionarse a menudo para observar si existe algún crecimiento.

Pilotes. revisar la cimentación ya que se puede generar algún defecto producto de la socavación, además se puede observar fisuras, grietas en la cimentación o estribos.

Viga principal. Debido a la exposición a la intemperie puede dar origen a anomalías como la tendencia del metal a oxidarse y corroerse. También se puede encontrar grietas debido a grandes esfuerzos.

Debido al exceso de carga se puede presentar deformaciones en la viga principal de acero. Además, la falla más común en las conexiones es el pandeo para componentes que se encuentran bajo esfuerzos de compresión y grietas por esfuerzos de tracción.

Anclajes. En los sistemas de anclaje, la inspección se centra en el cuerpo macizo de hormigón o la estructura de acero que soporte la tensión del cable, por ello, su procedimiento es el siguiente:

- Revisar si son visibles los anclajes o si tienen algún tipo de cubierta por vegetación

- Si los anclajes han sido cubiertos por la vegetación se debe limpiar e iniciar la inspección.
- Una vez el anclaje sea visible se debe revisar rastro de fisuras o grietas tanto estructurales como no estructurales.
- Posterior a ello, se revisa si existe erosión en el hormigón u oxidación y corrosión en acero de ser el caso.

Inspección de Superestructura

Tableros. En los tableros verificar si están libres de patologías comunes en todos los elementos que la conformen como vigas principales, placa de tablero, vigas de piso, para realizar la inspección se debe:

- Visualizar si la superficie de rodadura está en condiciones apropiadas que permitan hacer un recorrido.
- Antes de realizar el recorrido se debe asegurar que el tablero soportará el peso, esto se puede evaluar con el hecho de caminar sobre el tablero y cerciorarse que no se desplace verticalmente de manera que cause inseguridad al profesional.
- Si no existe inseguridad por el desplazamiento se puede hacer un recorrido visual a lo largo de todo el tablero para revisar si existen grietas, oxidación o corrosión.

Apoyos. Los daños en estos elementos es el desplazamiento de pilares o estribos, corrosión, acumulación de escombros, es importante que el técnico revise con anterioridad en los planos el tipo de apoyos utilizados en el puente. Para revisar los apoyos se debe:

- Verificar que los pernos de anclaje estén en óptimas condiciones, y en caso de necesitar un ajuste se debería detallar el proceso para su debido ajuste.

- Observar que los componentes que permiten el movimiento estén funcionando adecuadamente.

Inspección de Elementos auxiliares

Dispositivos básicos de protección. Se necesita verificar y asegurar que estos dispositivos se mantengan en óptimas condiciones, por lo que es necesario realizar una inspección constante de los mismos, comprendiendo algunos elementos presentados a continuación.

Barandas de acero. En la inspección se debe identificar los daños como; elementos oxidados o con posible corrosión, pérdida de algún elemento de seguridad o detalle de alguna deformación existente

Juntas de expansión. Verificar que posea una alineación adecuada y que cuente con el espacio suficiente para que permita la libertad de movimiento. Además, deben estar limpias y llenas para evitar que el agua se filtre en la plataforma.

Pérdida de pernos. La fatiga es una anomalía que afecta a todos los elementos estructurales, un resultado de ello, es la pérdida de los pernos, por lo que siempre se debe verificar de una manera cautelosa y precisa todas las conexiones existentes con el fin de cuantificar los pernos faltantes.

Evaluación De Puentes

Para determinar las anomalías y estudiar el funcionamiento de la estructura, es necesario llevar a cabo un procedimiento adecuado, es decir, iniciar con la inspección de la estructura, hasta obtener los resultados de evaluación de los elementos del puente. Por lo tanto, es importante tomar en cuenta las normativas, códigos y manuales vigentes que establecen los requisitos necesarios para la evaluación estructural, cabe recalcar que el contenido varía según el país. En ciertos países la evaluación lo realizan a las partes

del puente, mientras que en otros países lo efectúan según los tipos de controles aislados por elementos (Gómez, 2015).

Las evaluaciones se realizan cuando sea necesarios, ya sea después de un daño o degradación seria, para así conocer la situación real de la estructura. Para el análisis se debe emplear técnicas fiables para obtener resultados óptimos, ya que, si se lleva a cabo una evaluación inadecuada podría ser el resultado de una inversión económica muy grande o el causante de accidentes graves

Determinar el estado actual de la estructura es de gran importancia para la seguridad de los usuarios (Gómez, 2015).

La evaluación estructural tiene como objetivo realizar un análisis de manera inmediata por acciones naturales como sismos, además es útil para ampliar la capacidad de uso. También sirve para identificar la degradación del material y verificar si los daños son producto de diseños erróneos o como una mala ejecución de la obra.

Por otro lado, nos permite analizar si en la estructura ha existido un mal funcionamiento en servicio (vibraciones, deformaciones, fisuración, entre otros).

La seguridad estructural se puede evaluar tomando en cuenta algunas con sideraciones:

- La evaluación debe de ser ejecutado por personal capacitado que no sea participe en el diseño y construcción del puente
- Verificar si durante la construcción ha existido algún cambio en la especificación de diseño y especificaciones técnicas de los materiales.
- Se debe tener disponible todos los recursos que permitan evaluar de manera correcta a los elementos estructurales del puente.
- No tener información acerca de las intervenciones realizadas en el puente.

Método De Evaluación Estructural

Para determinar el nivel de funcionamiento estructural, los métodos están basados en la experiencia laboral del profesional, para los procedimientos se debe tomar en cuenta (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020; Gómez, 2015):

- Se puede verificar mediante modelos matemáticos el comportamiento actual de la estructura, basados en las normativas vigentes.
- Se puede llevar a cabo algunos ensayos como el análisis de cargas, que permite tener información real sobre la respuesta estructural del puente.
- Es recomendable ver que ensayo resulta económica y pertinentemente preferible.

Tipos De Evaluaciones

Evaluación Según El Estado Estructural Del Puente.

Se puede evaluar la condición actual del puente en función de criterios sobre el grado de severidad, clasificándolos en Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo y Pésimo. A continuación, se describe la clasificación en **Tabla 12** (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020; Gómez, 2015):

Tabla 12

Estado estructural en función de los daños

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN
0	MUY BUENO (MB): en la estructura no se observa problemas.
1	BUENO (B): la estructura presenta anomalías en algún elemento estructural, sin embargo, la deficiencia no afecta a la funcionalidad del puente, por lo que la estructura requiere un mantenimiento rutinario: <ul style="list-style-type: none"> • Eflorescencia • Presencia de vegetación • Indicios de oxidación
2	REGULAR (R): el puente presenta deficiencias en la estructura provocando la reducción de las funciones de este, por lo tanto, requiere reparación parcial <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras en elementos no estructurales • Elementos auxiliares como la baranda deteriorado o

	fracturado.
3	<p>MALO (M): la estructura presenta daños en varios elementos por lo que se debe realizar una reparación inmediata, ya que el puente no cumple con las funciones para las cuales se diseñó.</p> <p>Entre los deterioros se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fracturas locales de elementos estructurales <ul style="list-style-type: none"> ● Corrosión ● Deformaciones en elementos estructurales
4	<p>MUY MALO (M M): los elementos estructurales presentan graves deficiencias, por lo que a la estructura no se permite el paso de cargas para las cuales fue diseñada ya que se requiere una reconstrucción de las partes del puente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grietas de fatiga en acero. ● Desplazamientos de elementos estructurales <ul style="list-style-type: none"> ● Grietas estructurales en hormigón ● Perdida de pernos o piezas de conexión faltante
5	<p>PÉSIMO(P): en la estructura existe perdida de sección en los elementos estructurales y producen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Desplazamientos horizontales o verticales muy notorios visualmente de la estructura. ● Por las anomalías el puente debe ser cerrado o corregir las cargas.

Nota. El grado de aseveración se basa en el libro de puentes de MCs. Ing. Joaquín

Gómez

Evaluación Según Otras Partes Del Puente

La clasificación descrita en la **Tabla 12** puede ser aplicada en elementos específicos de acuerdo al daño con la finalidad de mantener el componente en un nivel óptimo de funcionamiento (Gómez, 2015; Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006).

Evaluación Del Estado General Del Puente

Para este análisis se debe presentar un informe técnico, donde describa la capacidad funcionalidad del puente donde se indique que uno de los daños indique que la estructura que fuera de uso, misma decisión que los técnicos indicaran al finalizar las inspecciones, evaluaciones correspondientes (Gómez, 2015).

Metodología General

El objetivo es determinar la seguridad estructural del puente, de la vida útil restante ante las solicitaciones reales comparando para las cuales fue diseñado. Para ello se debe utilizar la información general de la estructura como: geometría, propiedades mecánicas de los materiales, etc. (Gómez, 2015; Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006).

La evaluación estructural incluye:

- Ensayos como las pruebas de carga y detección de patologías.
- Asegurar en la estructura la conservación de sus características y propiedades mecánicas del material, para ello, se debe investigar la información del proceso constructivo, informes de inspecciones y ensayos.
- Los métodos de análisis tienen el objetivo de identificar el peso real de toda la estructura, es decir, sus cargas permanentes.
- Identificar según las normativas los valores permisibles a las condiciones del lugar con respecto a especificaciones de sismos y viento
- Analizar la respuesta estructural con los datos de diseño y verificar posibles modos de falla.

Capítulo V - Ensayos

Existen diferentes ensayos que consienten en reconocer los materiales metálicos. En esta sección se dan a conocer algunos de los métodos de ensayo, además es importante identificar el material y sus características para determinar afectaciones.

Ensayos de Identificación

Existen una gran variedad de ensayos que consienten en reconocer los materiales metálicos:

Grabado Superficial/Metalografía

El método se realiza en la superficie plana, se debe rectificar la zona posterior, pulir y, por último, grabar una parte del elemento. Se puede llevar a cabo el análisis de grabado del material por medio de un microscopio, es importante resaltar que, gracias a la diferencia de microestructura de los materiales se los pueden identificar de una manera más sencilla. El acero al estar formado principalmente de hierro puro contiene una estructura granular (Qatm, 2022).

Prueba de Virutas

Para realizar el ensayo se debe de extraer una muestra de metal, se puede conseguir con la ayuda de una herramienta manual como un cincel afilado, para revelar e identificar del tipo de material que se obtuvo de la muestra, se detecta gracias al color que se genera en la superficie del elemento fracturado, y la forma que tiene el borde de la muestra extraída (EcuRed, s. f.). Observar las propiedades del metal en **Tabla 13**.

Tabla 13

Propiedades del metal

Metal	Color de la textura	Apariencia de la Fractura	Características de la Viruta
Hierro Fundido	Gris Oscuro	Cristalina	Pequeña, Frágil, Rugosa

Hierro Forjado	Gris Brillante	Fibrosa, Cristalina	No	Larga, Suave
Acero	Gris Claro	Finamente Cristalina		Larga, Suave

Nota. tabla extraída de la guía para la rehabilitación de puentes con Estructura de acero

Prueba de Chispa

Este ensayo permite identificar en la muestra obtenida los principales componentes, ya sea, de hierro fundido, acero al carbono o acero aleado, además, por medio del análisis sobre la muestra se obtiene información acerca de su tratamiento térmico (Böhler Welding Group, s. f.; Guarnizo, s. f.).

El método consiste en la fricción que se genera al pulir o limar la muestra con la ayuda de herramientas como la piedra esmeril o disco de pulir, La fricción provoca que las partículas se calienten y a su vez sean arrojadas al aire a gran velocidad, esto genera una combustión del aire del alrededor con los elementos arrojados que conforman el acero, permitiendo obtener información sobre su composición química y sus características (Böhler Welding Group, s. f.; Guarnizo, s. f.).

Análisis Químico

El ensayo permite tener información sobre los detalles de soldabilidad del material y sus propiedades. Para determinar si un material metálico tiene una gran resistencia a la corrosión es importante conocer su composición química, incluso esto permite conocer las características mecánicas del metal (Maldonado, 1996).

Este ensayo se realiza en laboratorio, para ello, se debe obtener una muestra (se puede usar una pieza) del material y enviarla al laboratorio. La muestra se la puede obtener de igual manera con la ayuda de una herramienta manual como el cincel para obtener virutas o astillas, o mediante perforaciones (Maldonado, 1996).

Los ensayos químicos que se pueden realizar en el laboratorio son los siguientes:

- Análisis de combustión en corriente de oxígeno: Se obtiene la composición por medio de un análisis de la combustión del material (Maldonado, 1996).
- Análisis de foto colorimetría: Para efecto de análisis del material se debe medir la cantidad de luz que puede absorber una sustancia, material o elemento coloreado. Tiene una similitud con la espectrometría pues funciona con longitudes de onda (Maldonado, 1996).
- Análisis de termo conductividad: Para obtener la información de la composición química del material obtenido, el análisis se lleva a cabo por medio de la conducción del calor sobre la muestra (Maldonado, 1996).

Ensayos No Destructivos

Se denomina ensayos no destructivos (END) a los análisis que determinen la composición del material con técnicas que no alteren la utilidad del elemento (Norma Ecuatoriana Construcción De La Construcción, 2014).

En la evaluación no destructiva los elementos ensayados no tienen un efecto permanente en la alteración de sus propiedades. Para realizar la prueba de una manera correcta se debe considerar los factores que influyen en la efectividad del ensayo. Ciertos factores que se presentan son (Norma Ecuatoriana Construcción De La Construcción, 2014):

- Los métodos de END no tienen un aplicativo general, al contrario, se complementan con otros ensayos que en ocasiones pueden ser destructivos.
- El método empleado tiene un ámbito específico dependiendo de lo que se pretende conocer del elemento estructural.

El empleo de cada método debe asociarse con los requerimientos de las normas, donde se especifican las exigencias y criterios aceptables, ya que, cada END contienen sus limitaciones y ventajas definidas (Norma Ecuatoriana Construcción De La Construcción, 2014).

Por lo general se realiza los siguientes ensayos no destructivos (Norma Ecuatoriana Construcción De La Construcción, 2014):

Inspección Visual (VT)

El método de inspección visual es el análisis para identificar los defectos, deficiencias de la estructura. En esta evaluación el técnico responsable observara de manera cuidadosa los elementos a ser examinadas durante el proceso, en este método se emplea herramientas como lupas, espejos entre otros objetos que permitan realizar una buena inspección. Para el examen es importante que el profesional a cargo este familiarizado con los materiales y tenga conocimientos y habilidades sobre los procesos de fabricación involucrados (Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, 2006).

Líquidos Penetrantes

El análisis con líquidos penetrantes se basa en una prueba no destructiva utilizada para identificar fisuras o grietas de las superficies. Para realizar la evaluación se debe de realizar el siguiente procedimiento:

laboratorio de ensayos no destructivos, guía de práctica, principio y control de soldadura en (Sci, 2021b):

- Sobre la superficie que se requiere evaluar se debe limpiar la zona y dejar secar o a su vez secar con algún material que realice el secado.

- Se coloca el tinte o líquido penetrante, de tal manera que el tinte se introduce en las discontinuidades o imperfecciones del material, esto debido a la acción capilar.
- La colocación se lo debe hacer en una sola dirección de avance.
- Se debe limpiar nuevamente la zona del tinte y se seca o se deja secar la zona.
- Por último, se hace una aplicación de un revelador absorbente en la zona donde se colocó el tinte, esto produce una mancha y permite examinar el defecto.

Los líquidos penetrantes se utilizan para identificar ver en la **Tabla 14** (Sci, 2021b):

Tabla 14

Defectos de fisuras en la superficie de Acero

Grietas por rectificado	Grietas en la Zona Afectada por el Calor
Poca penetración de la soldadura	Grietas por soldadura
Grietas por tratamiento térmico	Grietas por fatiga
Grietas por hidrógeno	Inclusiones
Laminaciones	Microcontracción
Porosidad del gas	Desgarros calientes
Juntas frías	Grietas por corrosión bajo tensión
Corrosión intergranular	

Nota. Tabla extraída de la guía para la rehabilitación de puentes con Estructura de acero

Radiografías

Es utilizado para identificar las posibles discontinuidades internas o superficiales de los materiales a evaluar, por ejemplo, en piezas que han sido forjadas o fundidas y juntas que han sido soldadas. La radiación es empleada para generar una imagen que muestra el interior del objeto examinado. La imagen se puede fijar en un sistema de registro o proyectarse en una pantalla fluorescente, en dispositivos electrónicos y otros dispositivos de radiación (J. C. Monsalvo, 2007).

Los elementos básicos para llevar a cabo la inspección por medio de radiografía se presentan a continuación (J. C. Monsalvo, 2007).

- El equipo para realizar la radiografía.
- El dispositivo donde se despliega la radiografía. En la mayoría de casos se suelen usar películas radiográficas.
- El profesional y su personal que este calificado para hacer la prueba de radiografía y realizar su interpretación adecuada y su resultado sea satisfactorio y seguro.
- El recurso adecuado para interpretar la película expuesta.

Una limitación que tiene el uso de las radiografías es que dependen del espesor del material o elemento que se desea evaluar. Es por ello, que para aceros con espesor de hasta 12.7 mm se puede realizar el ensayo con rayos X, en caso de, que el elemento tenga entre 12.7 mm a 64 mm de espesor se recomienda al usuario realizar la evaluación con rayos gamma (J. C. Monsalvo, 2007).

Por otro lado, una limitación es la obtención de una buena definición y contraste de la imagen radiográfica, por lo que, si el ensayo no posee tales condiciones, la utilidad de la información es muy baja, como resultado no se podrán tener todos los defectos del elemento (J. C. Monsalvo, 2007).

Inspección Por Partículas Magnéticas

La evaluación se realiza para determinar en la superficie grietas en soldaduras, para la prueba se usa un elemento de material ferromagnético, la patología se determina por la fuga del flujo. Debido a que la inspección por esta evaluación comprende el magnetismo del material, es importante que para el análisis el material a inspeccionar este conformado por material ferromagnético (J. M. Monsalvo, 2007).

El procedimiento para seguir es el siguiente (J. M. Monsalvo, 2007):

- Se debe verter encima de la superficie del material partículas magnéticas.
- Posterior a ello esperar a que estas partículas se magneticen en la superficie.
- Las partículas entraran en la fuga de flujo.
- Por último, se puede observar la grieta.
- En caso de requerir una resolución más alta se debe utilizar una fuente de luz ultravioleta.

Ultrasonido

La prueba se basa en un sistema tipo emisor-receptor. Es posible determinar discontinuidades como grietas o fisuras, además de poder medir el espesor del elemento, el proceso es el siguiente (Castillo González & Inostroza Hernández, 2013):

- Se envía impulsos de intervalo corto mediante energía sonora de alta frecuencia (1 MHz a 100 MHz).
- El impulso se propaga por el elemento.
- En caso de existir una discontinuidad (grieta), la señal se refractará desde la superficie donde se origina dicha discontinuidad.
- La señal recibida para a ser una señal eléctrica gracias a un traductor de señal.
- Por último, se muestra la señal y se procede a analizar el tamaño y lugar de las grietas, estimando los resultados a partir del tiempo que viajo la onda o señal y la velocidad.

Desventajas de la prueba ultrasónica:

- El operador debe tener una gran habilidad y tener la capacitación suficiente para el uso del equipo.
- No es muy útil para el hierro fundido, debido que este material posee escamas de grafito que produce una baja transmisión de sonido y un alto ruido de señal.

- Para poder transferir el equipo de ultrasonido es necesario de que la superficie a analizar sea accesible.
- Si los materiales tienen propiedades rugosas, irregulares o son muy pequeños y delgados, el ensayo no resulta útil.
- Existe una posibilidad de no detectar el defecto si es paralelo a la onda de sonido.

Prueba De Corrientes De Eddy

El ensayo sirve para determinar daños superficiales como: grietas, espesor de materiales y del revestimiento que generan un flujo de corrientes inducidas, para el análisis es necesario equipo especializado, es decir, una bobina externa con corriente alterna que genera un campo magnético variable, donde para que el ensayo es necesario un profesional con experiencia ya que debe tomar lectura con precisión de las señales (Asesoría y Equipos de Inspección SA de CV, 2019; Sci, 2021a).

Pruebas de carga.

Se realiza para determinar si la estructura resiste con seguridad una carga o para detectar si existe una anomalía en el puente, se puede ejecutar con una sola carga o en secuencia, la primera es el ensayo más susceptible es decir no causa daños al puente (Carrión et al., 2003b).

Por otro lado, la segunda alternativa la carga tiene que ser controlada debido a las deformaciones resultado del incremento de carga. Para la evaluación final la carga última se denomina la capacidad factorizada (Carrión et al., 2003b).

Dureza Y Ensayo De Resistencia

El ensayo por medio de la resistencia a tracción permite determinar la dureza del material, se realiza por las pruebas de Vickers, Rockwell y Brinell. El análisis de Vickers consiste en colocar una carga de 10 kgf que presione a un indentador piramidal

sobre el material con la finalidad de medir la penetración en el material, los resultados se deben expresar en HV/10. (Santos et al., 2001; Valdez, 2018).

Por otro lado, si se utiliza el método de Brinell para la penetración, es el mismo proceso, sin embargo, en este método se hace uso de una bola de acero endurecido sustituyendo al penetrador piramidal de diamante

Ensayos Destructivos

Resistencia A La Tracción

La evaluación describe el procedimiento del material bajo cargas, se realiza el análisis cuando los resultados del ensayo de dureza no son datos precisos. Para ejecutar el ensayo es necesario retirar una muestra del elemento, misma que debe estar en dirección de la tensión principal(Tadeo, 2016).

Por otro lado, el resultado depende de la consistencia de la muestra, ya que las características varían de acuerdo con el tipo de material. Además, el tamaño de la muestra varia segund los códigos y normativas de la región, pero el procedimiento es el mismo para el ensayo o (Tadeo, 2016).

Ensayo de Impacto Charpy

Mediante el ensayo de impacto de Charpy se determina la tenacidad del material, la tenacidad es la cantidad de energía necesaria para hacer que el material se fracture(Universidad Nacional Autónoma de México, s. f.).

La normativa específica que es necesario extraer una muestra del elemento analizar, con tamaño estándar de 10 mm x 10 mm x 55 mm con un corte en forma de V de 2 mm de profundidad en el medio de la dimensión más larga, por consiguiente, se coloca en un dispositivo de prueba de Charpy (Universidad Nacional Autónoma de México, s. f.).

Ensayo de Tenacidad a la Fractura

La evaluación se realiza una vez que en la inspección se identifica grietas en el miembro estructural resultado de los defectos de fabricación y para su reparación es necesario aplicar el método de la soldadura. Además, cuando los resultados de la prueba de Charpy no son valores confiables se debe ejecutar el ensayo de la tenacidad (Arana & González, s. f.; Asta et al., 2018).

Tasa de Crecimiento de Grietas por Fatiga

Se pueden presentar 3 etapas en el proceso de grietas por fatiga, desde su crecimiento hasta la rotura de la pieza. Las etapas que se presenta a continuación son para materiales dúctiles (Andrade et al., 2015):

- La primera etapa es el periodo de nucleación, es donde se inician las grietas, específicamente donde el esfuerzo producido lleva al elemento a deformaciones plásticas cíclicas. No siempre se presenta esta etapa debido a que algunos materiales suelen contener imperfecciones tipo grieta (Andrade et al., 2015).
- La segunda etapa se inicia con el crecimiento de la grieta en la zona de concentración de esfuerzos donde se dio origen
- La tercera etapa es ya la propagación de la grieta a lo largo del elemento, la diferencia es que, se da ya fuera de la zona de concentración de los esfuerzos, lo que conlleva a provocar el fallo final o colapso de todo el elemento

Se realiza una evaluación de la tasa de crecimiento de grietas con la finalidad de hacer más sencilla las actividades de mantenimiento que se planifiquen en un futuro (Andrade et al., 2015).

Medida del Esfuerzo Residual

Este método es preciso y los resultados a comparación de otros ensayos es confiable, la evaluación consiste en realizar una perforación en la muestra, a continuación, se describe las etapas del mismo:

- Se debe perforar un orificio pequeño en el material de muestra que se realizara la prueba, en la zona de interés.
- Se debe medir la deformación que este alrededor del orificio perforado, las cuales se generan debido a un nuevo estado de esfuerzo.
- Por último, se deben calcular los esfuerzos residuales.

Capítulo VI - Mantenimiento De Puentes Colgantes De Acero

Todas las estructuras están expuestas a las acciones del medio tal como; acciones de la lluvia, cambios climáticos, sobrecargas, y en su mayoría a falta de mantenimiento. Por lo tanto, los factores mencionados facilitan que en la superficie de la estructura se genere deterioros que alteran la funcionalidad y vida útil del puente (U. S. Army Department & U. S. Air Force Department, 2010).

Mantenimiento se define como el conjunto de actividades que se efectúan con el objetivo de conservar las propiedades y capacidades funcionales. Por lo tanto, el profesional debe de realizar una programación sistematizada para los trabajos de reparación, tomando en cuenta aspectos como materiales, equipas y mano de obra (Zhao & Tonias, 2017).

Además, la conservación de la estructura al pasar los años aumenta su inversión, es importante para llevar a cabo el mantenimiento técnicos especializados para su correcta aplicación (Zhao & Tonias, 2017).

Es preciso tener en cuenta que en cada proyecto se debe especificar el plan manteamiento de este, indicando todos los detalles para poder ejecutar la reparación con mayor precisión. Es importante especificar la propuesta de mantenimiento para los elementos deteriorados antes de efectuar la rehabilitación debido a que tienden a generarse nuevos daños. (Zhao & Tonias, 2017).

De manera general se conceptualiza los mantenimientos que en la actualidad las empresas utilizan para realizar en las diferentes estructuras (Zhao & Tonias, 2017):

Mantenimiento Total

Tiene como finalidad de establecer un conjunto de actividades para maximizar la eficiencia de los puentes y con ello ejecutar medidas protectoras para mitigar los daños generados durante el servicio del puente (Zhao & Tonias, 2017).

Mantenimiento Individual

Tiene la finalidad de eliminar los daños de manera definitiva utilizando una metodología de análisis, es decir manejando técnicas de control de calidad, ingeniería de procesos, y otros. (Gómez, 2015).

Mantenimiento Autónomo

Es aquel que elimina los problemas cotidianos para que el puente funcione sin ningún problema, además busca mejorar la calidad y seguridad estructural (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Mantenimiento Planificado

Son todas las acciones que sirven para mejorar los elementos de la estructura, para ello la entidad a cargo debe de desarrollar una planificación para cada uno de los elementos (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Objetivos De Mantenimiento En Puentes

- Garantizar la seguridad estructural para evitar deterioros en los elementos del puente (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).
- Asegurar que el tráfico vehicular circule en las mejores condiciones sobre el puente (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Tipos De Mantenimiento

Los mantenimientos que se pueden aplicar en una estructura están bajo un criterio de prevención, corrección o rehabilitación de un daño, y se pueden clasificar en (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017):

Mantenimiento Rutinario

El mantenimiento rutinario se define como los trabajos periódico-programados y bajos recursos económicos. A continuación, se describe las operaciones que se realiza en este tipo de mantenimiento (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017):

- Limpieza general del puente como: péndolas, cables principales, cimentaciones, sistema de anclaje y otros.
- Eliminar escombros, basura que producen grados de deterioros en los elementos del puente
- En todos los elementos planificar la colocación de capas protectoras contra la corrosión, oxido.
- Colocar señalización que especifique características generales del puente,

Mantenimiento Especializado

Este tipo de mantenimiento hace referencia a todos los trabajos donde es necesario equipos y personal especializado. En este caso, no se lleva a cabo actividades periódicas de mantenimiento, ya que, son solo el resultado de la valoración funcional del puente o de su estado general (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Existen algunas actividades de mantenimiento especializado que se muestran a continuación (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017):

- Trabajos de reparaciones menores tal como; roturas locales en barandas, barreras, corrosión de estado menor, oxidación u erosión.
- Reparación o renovación de elementos locales en los sistemas de desagüe o drenaje por mal funcionamiento o rupturas de los elementos.
- Reparación o renovación de juntas entre tramos y de dilatación.
- Reposicionar o sustituir los aparatos de apoyos, en caso de deslizamiento o desgaste extremo.
- La aplicación de protección global en la estructura, como pintura contra el defecto de corrosión, en lugares metálicos.
- Renovación sistema de impermeabilización del tablero.

- Reconstrucción de la superficie de rodadura, en la cual, no es recomendable aumentar su espesor.
- Proteger los elementos contra la humedad.
- Expulsar y eliminar los posibles caminos de agua.
- Fabricación de dispositivos que puedan hacer más sencilla realizar la inspección.
- Ajuste de tornillos y elementos de conexión.

Mantenimiento Preventivo

Se define como las actividades que se ejecutan para evitar daños o degradaciones, tomando en cuenta que se genera las anomalías debido a factores externos, por la sobrecarga en los materiales que origina deformaciones, pandeo y entre otros (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Se ejecuta diferentes trabajos para reparación como; impermeabilización de tableros, capas protectoras para prevenir la corrosión, reemplazo del sistema de drenaje al existir filtraciones de agua (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017):

Mantenimiento Correctivo

Son todas las acciones que se efectúan para eliminar daños provocados durante la etapa de construcción, se debe tomar incluir todos los trabajos de diagnóstico, pronóstico, reparación y protección de las estructuras (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Atendiendo Al Tipo De Obra

Mantenimiento De Obras Nuevas. Son todos los trabajos que se especifican en el diseño y que deberán ser ejecutados al concluir la obra (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Mantenimiento de obras viejas existentes. Este mantenimiento se realiza sobre las reconstrucciones para eliminar daños existentes y evitar que continúe el deterioro hacia los demás partes del puente (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Mantenimiento ordinario.

Se define como la realización de las acciones periódicas sobre los elementos que han sufrido algún daño, por motivo de la utilización, abrasión, por causa del desgaste debido a los factores ambientales, y en vista del material usado en la construcción que sufre su propio envejecimiento, además, de las cargas circulantes (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Por otra parte, existen una variedad de mantenimientos con respecto a los objetivos, a la complejidad y costos, los mismos que se exponen a continuación (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017):

Mantenimiento Simple o Habitual. Son todas las operaciones para eliminar de manera definitiva la acumulación de material petreo, vegetación, y los agentes erosionantes o agresivos, entre otros.(Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Mantenimiento Medio. Son todas las acciones para reparar los elementos no estructurales del puente y prolongar su vida útil (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Mantenimiento Complejo. Este mantenimiento tiene como objetivo la sustitución de elementos fundamentales de la estructura, además estos trabajos deben realizarse por personal especializado (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Aspectos De Una Propuesta De Mantenimiento.

Para poder realizar la propuesta de mantenimiento de debe en cuenta factores como la importancia del proyecto ya que servirá para la elección del conjunto de actividades que se van a llevar a cabo (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Además, se debe realizar inspecciones periódicas de los elementos con anomalías para controlar la aparición de nuevas lesiones y mantener la integridad del puente. También tener en cuenta los trabajos de mantenimiento ejecutados (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

La importancia de la estructura para determinar materiales para ejecutar el mantenimiento. Por otro lado, se debe indagar información acerca de los mantenimientos ejecutados en fechas anteriores o si es el caso revisar a detalle el diseño (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

La importancia de la estructura para determinar materiales para ejecutar el mantenimiento. Por otro lado, se debe indagar información acerca de los mantenimientos ejecutados en fechas anteriores o si es el caso revisar a detalle el diseño (Gómez, 2015; Zhao & Tonias, 2017).

Equipos de Protección Personal

Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga

y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol (Calcagno, 2019; Organización Internacional del Trabajo, s. f.).

Reparación y Protección De Elementos

La mayoría de las anomalías que afectan a la seguridad estructural requieren procedimientos para minimizar el daño, por lo que se da en función al tipo de material y según el daño. Además, los trabajos se realizan para reducir los efectos de carga, aumentar la resistencia y dependiendo el daño el reemplazo del elemento (Zhao & Tonias, 2017).

Concepto de reparación

La reparación se la puede definir como el grupo de operaciones o actividades para la eliminación, limpieza, sustitución y/o protección de una forma adecuada y sistematizada, con la finalidad de restaurar la serviciabilidad de los materiales o componentes estructurales que muestren un cambio relevante en su funcionamiento, ya sea provocado por, defectos de construcción, anomalías originadas durante el uso de la estructura, es decir, el reforzamiento de la estructura bajo trabajos que tengan un carácter correctivo en etapas comunes que se relacionen con el mantenimiento (Zhao & Tonias, 2017).

Para ejecutar la reparación es necesario tener en cuenta el factor económico, evaluando el tipo de reparación o rehabilitación en relación al costo total (Zhao & Tonias, 2017).

Para ejecutar la reparación es necesario tener en cuenta el factor económico, por ello, se debe evaluar el costo total que conlleve el trabajo a realizarse para definir el tipo de reparación o rehabilitación que se va a efectuar (Zhao & Tonias, 2017).

Tipos De Reparación

Reparación Media. Consiste en la reparación de aquellos daños que disminuyen la seguridad y durabilidad de la estructura. Por lo que es importante analizar las reparaciones en conjunto ya que de esta manera se determinará en que clasificación se debe colocar (Estrada Molina, 2013; Zhao & Tonias, 2017).

Reparación Capital. Se considera todos los daños graves en la estructura, se debe realizar la sustitución de los componentes de la obra y la seguridad se ve alterada influyendo directamente al límite d servicio (Estrada Molina, 2013; Zhao & Tonias, 2017).

Se debe elaborar el proyecto de reparación con la información del diagnóstico, misma que debe ser aprobada por la institución correspondiente, además constara de memoria descriptiva, planos y documentación establecida en el país (Estrada Molina, 2013; Zhao & Tonias, 2017).

Los profesionales deberán detallar los métodos para realizar la reparación y restitución del puente. Además, el contratista deberá de dotar equipo de protección del personal, equipos de tecnología y materiales (Estrada Molina, 2013; Zhao & Tonias, 2017).

Durante el proceso de reparación se deberá acotar lo siguiente (Estrada Molina, 2013; Zhao & Tonias, 2017):

- Socializar a los usuarios sobre los trabajos a ejecutar en la estructura para evitar molestias.
- En caso de ser necesario planificar horarios para el desvío vehicular, como también para límite de peso y velocidad permitida durante procesos de reparación, con la finalidad de la circulación vehicular sin conflictos.

Reparación de la superficie

El objetivo es eliminar todo residuo que origine fallas a los métodos de protección de los elementos de la estructura como por ejemplo pintura, por lo que se debe de tener un plano libre de impurezas que alteran a la superficie tal como; humedad, aceite, grasa, óxidos mismos que deben ser eliminados durante el proceso de reparación.

Es importante indicar que los procedimientos de recubrimiento llegan a fallar, es producto por la falla de reparación en la superficie o falla en la adherencia del recubrimiento.

Además, cabe especificar que la garantía de que el revestimiento haga efecto está bajo el criterio de la preparación del área o zona revestida, también de las condiciones iniciales como: si el acero de la estructura no ha sido revestido antes, o si se ha realizado mantenimiento del mismo y por último la existencia de imperfecciones en la superficie.

Para la reparación es importante que el técnico se base en los comités como:

- Steel Structures Painting Council (SSPC)
- National Association of Corrosion Engineers (NACE)
- Swedish Standard (SIS)
- British Standard (BIS) BIS 4232

Limpieza de Acero

La limpieza es para eliminar las impurezas que puedan estar presente en la superficie de acero y así modifiquen las propiedades físicas o mecánicas. Por ello se lleva a cabo el siguiente procedimiento para la limpieza (Calcagno, 2019; paredes, 2021):

- Primero usar el equipo de seguridad, seguido se puede colocar en las piezas de acero, gel de limpieza ácido a base de agua, es opcional, para darle un brillo al material y tener una mejor limpieza.
- Como recomendación, es posible seleccionar un tipo de limpieza metálica, descritos en la sección “Grados De Limpieza De Superficies Metálicas”.
- Por otro lado, si el daño es mínimo se puede usar una esponja y líquidos para remover las patologías superficiales, se aconseja evitar el uso de fibras metálicas, sin embargo, si el daño es más grande se pueden usar herramientas como el cepillo de acero o una lija de agua (para el caso de concreto).
- Con el uso de un cepillo de acero se limpia las impurezas encontradas en el acero, esto se hace en caso de oxidación, corrosión, eflorescencia o decoloración del acero.
- Si el cepillo o lija (para caso del concreto) es de uso eléctrico, usar solamente con máquina que cumplan con los RPM dispuestos por el fabricante, para evitar que el cepillo o lija se desarmen o se rompan, se aplica en forma circular aplicando fuerza.
- En caso de ser manual, usar un cepillo con mango o una lija humedecida con agua o gel de limpieza ácido a base de agua, para ambos casos aplicar con fuerza en forma circular.
- Después de cepillar, se lava la superficie para retirar las escorias sueltas, ya culminada con la limpieza se seca la superficie con una franela o cualquier herramienta de secado.
- Por último, se aplica algún tipo de protección sobre la superficie.
- Como recomendación, si la sección de acero pierde más del 15% de su sección, es necesario reemplazar el elemento, en caso de ser acero de refuerzo, la

intención es realizar un análisis de su capacidad y disminuir la carga que soporta (Paredes et al., 2013).

- Una segunda opción, es restaurar la capacidad del acero, con el método de adición de material.

La Adición de Material

La adición del material se trata de soldar placas de acero adicionales a elementos dañados por grietas o fisuras, corrosión, u otro daño que ocasiona pérdida de la capacidad del elemento (Orlando & Jiménez, 2021).

- La intención es ubicar la falla.
- Seguido se analiza las dimensiones de la placa, se puede seguir la normativa de ASW para información de ancho de suelda.
- Los pernos también funcionan como conexión adecuada.

Reparación de Dimensiones Inadecuada

En el caso de dimensiones que no están acorde a la estructura, como candados que se deslizan, péndolas de dimensión pequeña o diferente tamaño a las demás, se pueden corregir de la siguiente manera:

- Si la dimensión es muy grande a lo especificado y no cumple con los requerimientos, como es el caso de conexiones, se puede realizar rectificaciones (en el acero) con un profesional de forjado de acero.
- Si la dimensión es muy pequeña se debe reemplazar el elemento por uno que cumpla con los requerimientos o que se ajuste a la estructura.

Grados de Limpieza De Superficies Metálicas

Se debe limpiar la superficie de acero a intervenir, eliminando toda la oxidación, escamas, suciedad, insectos, vegetación, escombros, pintura vieja, aceites o alguna otra sustancia líquida

A continuación, se describe cada grado de limpieza especificado en los comités:

Limpieza con Solventes. El proceso consiste en remover todos los factores contaminantes como: aceites y polvo, para ello, se procede aplicar una solución apropiada tales como: soluciones alcalinas, detergentes y solventes orgánicos por medio del uso de equipos de presión, posterior a ello, se realiza un lavado con agua y se deja secar a temperatura ambiente (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Limpieza Manual. Esta técnica hace uso de herramientas manuales con la finalidad de remover impurezas, tales como, el óxido de los metales, escoria de las soldaduras, restos de pintura (pintura que con el tiempo ha sufrido un desgaste o decoloración), y otras contaminaciones que pueden ser eliminados con el esfuerzo humano, finalmente se efectúa un lavado con agua y secado a temperatura ambiente (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Limpieza Mecánica El método se basa en el uso de herramientas eléctricas para suprimir todas las escorias producto del óxido, suelta, para mejorar el aspecto se debe colocar capa de pintura posterior de la limpieza (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Limpieza Con Flama. Para la limpieza de la superficie se utiliza altas temperaturas de flamas para eliminar los residuos como el óxido. Además, es importante recalcar que la pintura debe aplicarse cuando la superficie este fría (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Limpieza con Chorro de Abrasivo Grado Metal Blanco. Es toda aquella superficie que presenta color metálico uniforme, además se tiene que eliminar todo factor contaminante y de manera inmediata colocar la pintura antes que los factores externos alteren la superficie (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

El método se puede emplear cuando la especificación técnica, determina que para no puede existir rastro de oxidación ni de pintura anterior (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Limpieza con Chorro de Abrasivo Grado Comercial. Este método de limpieza se le conoce como “Ráfaga”, debido al uso de un abrasivo a presión para preparar las superficies metálicas (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.). Además, SIKA S.A.S (2020) indica que este tipo de limpiezas se realiza para remover el óxido prematuro.

Limpieza Química. Este tipo de limpieza utilizan reacciones químicas para limpiar los metales, eliminando escamas, óxidos, materiales extraños, posterior se coloca una solución neutralizada y por último se deja secar al aire (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Para el uso de las reacciones químicas el personal debe de tener a su alcance protección personal ya que son materiales agresivos que afectan piel, ojos (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Herramientas de Poder Para Limpieza a Metal Desnudo. Tiene como finalidad dejar al metal libre de escorias y con una superficie rugosa para posterior colocar capa protectora para su durabilidad (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.).

Además, consiste en la eliminación de calamina, herrumbre, pintura y cualquier materia extraña de la superficie por medios mecánicos o herramientas de poder

Limpieza Industrial con Chorro. Esta limpieza utiliza un chorro abrasivo para limpiar áreas de acero antes de aplicar un revestimiento protector, este método consiste en eliminar la mayor parte de factores agresivos que afectan la superficie:

Abrasivos. Se denomina a los materiales como arena, granalla, hierro o acero fundidos y cortes de alambre para la limpieza. Se tiene los abrasivos no metálicos para limpieza, mismos que se clasifican en:

- Limpieza con chorro de arena en seco
- Limpieza con chorro de aire con abrasivo húmedo
- Limpieza con chorro de agua con o sin abrasivo

Además, los abrasivos metálicos son aquellos que se utilizan para la preparación de la superficie y entre los más usados: granallas y perdigones. Se especifican los abrasivos metálicos en las normas SAE.

Protección Superficie

Protección Anticorrosión. Tiene como objetivo eliminar todos los factores que alteran al sistema de protección de esta manera logrando una superficie libre de contaminantes y lograr colocar capas protectoras contra corrosión (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.; paredes, 2021; Sciortino et al., s. f.).

Las normativas, código tantos nacionales como internacionales definen la protección anticorrosión, indicando que existen dos casos: la primera renovación

periódica de la protección anticorrosiva sin reparación y renovación anticorrosiva con una reparación importante.

Aplicar las capas de pintura anticorrosiva (las capas sucesivas deben ser de diferente color para evitar dejar áreas sin pintar) de manera uniforme, utilizando brocha, rodillo o rociador y siguiendo las especificaciones del fabricante. Además, se debe curar cada capa de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Es importante mencionar que se debe medir y ajustar el espesor de cada capa húmeda durante la aplicación, para que después de curar, se logre obtener el espesor de pintura deseado. En caso de que, alguna capa después de curada no alcance el espesor deseado, se debe volver a pintar hasta alcanzar dicho espesor (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.; paredes, 2021; Sciortino et al., s. f.).

Cabe recalcar que en el acabado se debe realizar una limpieza sin alterar el revestimiento para así compararlo con las fotografías que indica las normativas, además indica que existen tres grados diferentes de deterioro (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.; paredes, 2021; Sciortino et al., s. f.):

- Grado I: inspeccionar la superficie para verificar el brillo y color del metal.
- Grado II: en la inspección se debe determinar las grietas, ampollas y descamación en la superficie
- Grado III: los daños son más intensivos en la superficie metálica.

Se clasifica el sistema de protección anticorrosión en; imprimaciones inhibidoras, imprimaciones de sacrificio o galvánicas e imprimaciones de barrera. Los imprimantes inhibidores se definen como aquellas que previenen la corrosión química creando una capa de protección en acero contra factores como humedad y oxígeno.

Las imprimaciones de sacrificio o galvánicas son aquellas que hacen que la superficie de la estructura se convierta en una electroquímicamente negativa (anodizada), el material que usualmente se utiliza es el zinc.

Los imprimantes de barrera ayudan a mantener la superficie fuera del alcance la acción del agua, el oxígeno y los materiales iónicos. Del mismo modo se puede clasificar en recubrimientos no metálicos y recubrimientos metálicos, a continuación, se describen algunos materiales de los dos grupos:

Recubrimientos no Metálicos. Como recubrimientos no metálicos se tiene las pinturas, lacas, asfalto o alquitrán y también resinas, en la construcción el producto más utilizado son las lacas y pinturas debido a que contiene catalizadores, pigmentos y solventes volátiles. Por otro lado, las resinas son aquellos que tiene la propiedad de cohesión de la imprimación. Es importante especificar que el pigmento es el responsable de las propiedades de cobertura tales como: consistencia, durabilidad y resistencia.

La capa protectora de pintura anticorrosiva ha demostrado que es la mejor opción para proteger el metal, por lo que se debe aplicar antes de la pintura exterior. Para realizar la aplicación de la corrosión no metálica es importante que lo efectúe personal capacitado en el tema, además se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La temperatura ambiente óptima debe estar entre 15°C y 25°C.
- Humedad relativa inferior al 90%.
- Las condiciones climáticas intervienen para la aplicación de los recubrimientos, no se debe colocar cuando exista climas lluviosos y ventosos.

Además, es importante que la primera capa de recubrimiento se lo realice no más de 6 horas después de la limpieza de la superficie y debe tener un espesor máximo

de 50 μm . Es importante considerar las condiciones ideales del equipo que se utiliza para la pintura y así garantizar un buen recubrimiento.

Para colocar el anticorrosivo se puede realizar con la ayuda de brocha, aerosol y aerosol sin aire, donde la pintura con aerosol debe ser con un equipo especial como: pistola de pintura, compresor y accesorios, además la distancia entre la pistola y superficie debe ser de 18 y 25 cm siempre y cuando la presión de aire sea de 2 y 5 MPa

Por otro lado, la pintura con aerosol sin aire es aquella donde la pistola puede bombear a la pintura con una presión de 20 MPa sobre la superficie. Esta técnica es recomendable puesto que resulta ser económica y además puede proporcionar estéticamente mejor calidad que otras pinturas.

Sin embargo, para la colocación se debe regir según lo estipulado en la etiqueta de la fábrica, a menos a que el profesional encargado indique el uso de aditivo para acortar el tiempo de secado de la pintura, en circunstancias de emergencia o bajas temperaturas

Existen diferentes tipos de pintura para controlar y evitar la corrosión:

- **Pinturas imprimadoras:** se coloca la capa protectora cuando la superficie del metal se encuentre totalmente limpio, se puede aplicar soluciones especiales como lanolina.
- **Plomo metálico:** des utilizado para estructuras bajo el agua.
- **Zinc metálico:** son utilizados como imprimadores y son adecuadas para tolerar pinturas de acabados.

Recubrimientos metálicos. Este proceso consiste en inducir sobre la superficie del metal una corriente con la finalidad de disminuir velocidad de corrosión, por lo que existen diferentes métodos para realizar el recubrimiento metálico:

Recubrimientos catódicos. Se basa en el revestimiento de un metal que contiene un nivel de electroquímicos superior que el acero, es decir, contiene cobre, plomo y cromo. El recubrimiento genera un tipo de capa sobre la superficie del material a recubrir con óxidos metálicos que producen un comportamiento pasivo al metal activo.

Recubrimientos anódicos. en este caso el metal tiene un electroquímico menor al del acero, este proceso hace referencia al sistema de galvanización, el cual consiste, en juntar una pieza de metal que tiende a la oxidación con el acero para que genere un comportamiento de cátodo en el acero.

Por otro lado, se debe recalcar que en los puentes de acero se utiliza el método de revestimientos anódico, además para el revestimiento se puede realizar mediante los siguientes métodos: electroquímico, químico, difusión, deposición física de vapor, inmersión y metalización

El método más utilizado es el de metalización razón por la cual es común y útil para superficies grandes, aquel método requiere un equipo especial conformado por: compresor y una pistola pulverizadora.

El proceso de metalización consiste: limpiar la superficie del acero, enseguida realizar el proceso de metalización y por último el enfriamiento del revestimiento.

Además, como recubrimiento protector se utiliza el galvanizado, este genera una capa de óxido que protege al acero de la corrosión. El material de revestimiento se debe aplicar en los componentes de superficie y su unidad de medida es kg/m².

Existen clases de recubrimiento de zinc:

Clase A: 0.12 a 0.31 (kg/m²)

Clase B: es 2 ves más pesado que la clase A

Clase A: es 3 ves más pesado que la clase A

Protección a los Cables de Puentes Colgantes. Se deben realizar las siguientes actividades para proteger los cables contra el proceso de corrosión (Beaver, 2017; Lifting Solutions Group, s. f.; Noria Latín América, 2015):

- Aplicar capa protectora de galvanizado o pasta roja de plomo.
- Piezas plásticas de relleno extruidas de polietileno negro.
- Cubierta de resina acrílica de vidrio reforzado con una capa de base de fibra de vidrio.
- Capa de resina acrílica.
- Pintura Hypalon
- Hojas de neopreno enrolladas.
- Capa de resina acrílica que contiene un aditivo de arena.
- Lo recomendable es engrasarlo periódicamente, esto ayudara a su protección ante el calor y la humedad.

Protección Ante La Oxidación. Ante cualquier factor externo se puede proteger los elementos para ello se puede utilizar técnicas o instrumentos como (Asociación Latinoamericana del Acero, s. f.; paredes, 2021; Sciortino et al., s. f.; Vázquez, 2018):

- Recubrir con zinc el acero normal, a este proceso también se le denomina galvanizado.
- Recubrir el elemento de acero con plásticos especiales (su uso no es diario ya que dentro del tema costos se puede asumir resulta caro)

- Pintar los elementos de acero con pinturas especiales (comercialmente para anticorrosión), es el método más utilizado, se debe usar una capa de pintura epoxi sobre una capa de imprimado de zinc.
- Proteger el acero por protección catódica, esto se usa para proteger elementos que están en contacto con agentes corrosivos como las sales marinas.

Reducción de los Efectos de Carga

- En la estructura se debe realizar la redistribución de cargas para ello se debe de efectuar análisis estructurales o pruebas de cargas, con el objetivo de identificar la trayectoria de máximos esfuerzos en un elemento y así determinar la carga de diseño. También se puede limitar el peso de los vehículos para disminuir los efectos de carga. Además, se debe tomar en cuenta:

- Medidas de seguridad
- Accesibilidad
- Disponibilidad y entrega del material
- Tamaño y peso del material
- Cronograma de trabajo
- Ambientales

Para ejecutar las obras se debe de realizar una socialización, es decir, dar a conocer a los usuarios el trabajo, indicando el cronograma de las diferentes actividades a realizar, como es el caso del ruido durante el proceso de la construcción que debe tomarse en cuenta antes de empezar las actividades de trabajo.

Por otro lado, se debe gestionar los permisos respectivos acerca de manejo de Tránsito, es importante que para evitar el congestionamiento vehicular el cierre de vía sea nocturna o generar horario intermitente de cierres.

Protección

La protección para evitar o mitigar los daños por efectos de carga, se basan más en limitar la carga que pueda soportar la estructura después de realizar el análisis correspondiente, por lo tanto, para su protección lo que se realiza es poner señalización vertical que asegura el máximo que puede transitar por el puente.

Reparación De Grietas De Acero

Se pueden localizar en el elemento y en las uniones (por suelda, pernos), y dependiendo del daño se puede revisar la reparación que se puede realizar, en el caso de las uniones por suelda, se puede reparar igual que el elemento.

Reparación Por Suelda

Para la reparación de grietas hay diversas formas por el método de soldadura, que en varias ocasiones resulta mejor que reemplazar elementos completos (Miguel & Pere, 2011).

En este método existen formas de realizar la reparación:

Soldadura Con Electrodo Revestido De Rutilo. Los electrodos revestidos tienen el beneficio de soldar utilizando un bajo amperaje, otra ventaja es que la escoria se desprende por si sola, lo que facilita trabajos largos de soldadura. Además, su apariencia es suavemente ondulada con tendencia lisa y fina, perfecto para bordes cortantes (Miguel & Pere, 2011).

La técnica sugerida es la de cordón en hilera, en caso de necesitar varias capas, lo recomendable es hacerlo en 3 capas de 2,5 milímetros de diámetro. Es necesario eliminar la escoria y golpear el cordón para obtener el recargue suficiente (Miguel & Pere, 2011).

Soldadura TIG. Se utiliza para arreglar grietas pequeñas, o para acomodar herramientas pequeñas. La ventaja es que se puede reparar el elemento sin dañar el material base, y no provoca deformaciones. Las varillas TIG tienen un rango muy amplio de aleaciones bajo el orden UTP (Miguel & Pere, 2011).

Soldadura MIG/MAG. El beneficio es que se vuelve económica para soldar grandes cantidades. La soldadura es realizada con la ayuda de un hilo continuo de 1,2 o 1,6 milímetros de diámetro (Miguel & Pere, 2011).

Reparación Grietas En El Acero (Por Soldadura). La intención es reparar las grietas que se producen en el acero estructural, y hacer que el elemento que sufrió el daño pueda seguir funcionando de la misma manera y que no se deteriore completamente. Para lograr la reparación adecuadamente se debe realizar el siguiente procedimiento (Solyman, 2020):

- Se analiza la causa del problema, y la gravedad de la grieta.
- Se revisa si el estado del material es adecuado para la reparación (puede resultar mejor reemplazar el elemento).
- Se limpia alrededor de la grieta en el elemento, eliminando cualquier rastro de impurezas, pintura entre otros.
- Se realiza 1 orificio a los extremos de la grieta para detener el avance de la grieta.
- Se lima la superficie agrietada, a esto se le denomina chaflado, para que la suelda y el material base interactúen de manera adecuada.
- Posterior a ello, se coloca una placa de acero por debajo de la grieta para cubrir el espacio y así soldar el elemento de forma correcta.
- Se debe limpiar la escoria, y mantener seca la zona
- Posterior a ello, se coloca una placa de acero por debajo de la grieta

- Se suelda con la técnica cordón en hilera.
- Se limpia la escoria de la suelda y se golpea el cordón.
- En caso de que la grieta sea sobre la suelda, el proceso a seguir es desgastar la suelda y repetir el proceso sin la ayuda de la placa de acero.

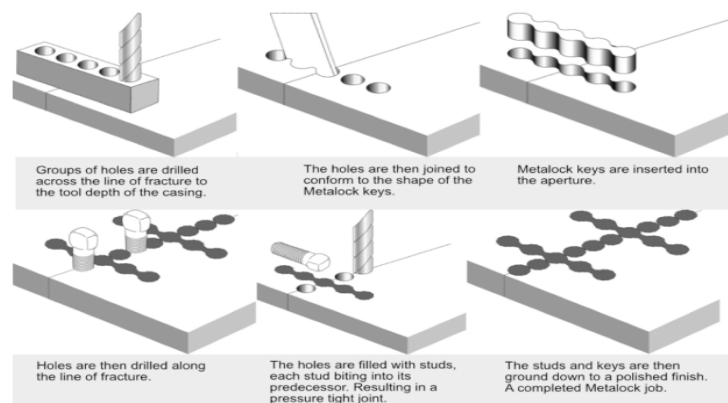
Reparación Por Costura

En las estructuras metálicas con grietas o elementos que han sufrido fracturas se puede reparar por el método de costura, para ejecutar se debe realizar el siguiente proceso (International Metalock Association, s. f.):

- En la estructura se deben realizar una perforación de varios orificios, es necesario que los orificios sean perpendiculares a la grieta y así mismo, estar alineados a lo largo del agrietamiento.
- Enseguida se debe introducir un tipo especial de llaves de acero que tienen un alto contenido de níquel.

Ilustración 22

Proceso de reparación por costura



Renovación de Uniones Remachadas

Al existir corrosión entre uniones produce abertura entre los elementos, por lo que se debe de reemplazar los remaches para eliminar corrosiones y otros factores que alteren la estructura metálica.

El procedimiento para el reemplazo de uniones es el siguiente:

- Se debe de calentar el remache de una sola cabeza.
- Se procede a colocar el vástago en la estructura.
- Se debe presionar el lado del remache sin cabeza con la herramienta adecuada y así producir que se genere una segunda cabeza que cierra la conexión.
- Por otro lado, antes de realizar el reemplazo se debe de hacer un análisis para comprender la trayectoria de carga en la conexión y verificar si de esta manera es factible el remplazo por pernos (Ricardo García Ledesma, 2013)

Reparación De Elementos Deformados

En la estructura metálicas los elementos se ven afectados por diferentes causas produciendo deformaciones en los mismos, esta afectación debe ser reparada mediante métodos mecánicos o térmicos.

En el campo se ejecuta el método mecánico, el cual consiste en aplicar una carga externa al elemento que ha sufrido la deformación, la carga debe efectuarse en dirección contraria a la deformación. Además, según los códigos internacionales existen las siguientes recomendaciones:

- No se recomienda que se lleve a cabo el enderezamiento mecánico si se posee temperaturas menores a 20°C.
- Se debe mantener las fuerzas aplicadas máximas durante 15 minutos en el último paso de la acción.
- Si el elemento reparado presenta alguna grieta o algún defecto producto de la reparación mecánica, no es aceptable y se procede a su reemplazo.
- En primera instancia, se recomienda eliminar la deformación causada por la flexión, y luego las deformaciones por torsión.

Además, es importante que según el tamaño de la deformación se determine las herramientas a utilizar para corregir el daño, por lo general se utilizan herramientas menores para reparación de deformaciones pequeñas y en el de deformaciones de mayor tamaño se debe realizar con el uso de gatos hidráulicos, cabrestantes, bloques de cadena, sistemas de poleas, tornillos de aparejo, entre otros, para crear una fuerza externa (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012).

El proceso térmico tiene la finalidad de aplicar calor en los elementos con distorsión o pandeo para corregir los elementos. Se Observa las propiedades en la **Tabla 15** donde se describe el comportamiento dependiendo de la categoría a la que pertenece el material (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012).

Tabla 15

Clasificación de los comportamientos

Categoría S	doblado sobre un eje fuerte en secciones armadas o laminadas.
Categoría W	flexión sobre el eje débil
Categoría T	los daños por torsión alrededor del eje longitudinal del miembro
Categoría L	esta categoría incluye daños tales como pandeo local del alma y del patín

Nota. Tomado de la guía para la rehabilitación de puentes con Estructura de acero

Existen diferentes métodos de calentamiento, que incluyen:

Calefacción Puntual

Se realiza en áreas pequeñas y redondas del componente estructura, sirve para eliminar deformaciones onduladas y además el diámetro tiene una limitación, es decir:

$$D = 8g + 10 \text{ mm}$$

$$D \leq 25 \text{ mm}$$

$$D \leq 4g$$

La variable g representa al espesor de la placa que ha sufrido una deformación. Por otro lado, debe tener una distancia de 100 mm desde el borde de la placa para iniciar

el proceso, el calentamiento debe iniciarse desde el punto central y es prohibido calentar dos veces (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012).

Calentamiento En V

Este método sirve permite corregir abultamientos en componentes de acero fabricados con secciones soldadas. Este proceso se limita a lo siguiente (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012):

- El punto de inicio es la punta de la V.
- La operación debe realizarse continuamente.

Calentamiento rectangular

Este proceso es el complemento del calentamiento en V, con ello, se puede lograr una reparación adecuada del arrugamiento del alma y permite reparar alrededor del eje débil a una placa doblada. (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012).

Calefacción De Borde. Es recomendable para miembros únicamente que posean paredes delgadas o elementos con espesores delgados. En el proceso se calienta todo el borde del elemento a largo del mismo.

Reparación Mediante Adición De Material

La reparación tiene como objetivo adicionar placas de acero para refuerzo, apoyo o rehabilitación de elementos o uniones al puente existente mediante un sistema de soldadura, pernos o remachado. Para ello, es preciso de realizar un análisis para el proceso de refuerzo (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012):

- Primero, es necesario estudiar la carga y evaluar el reforzamiento.
- Verificar para que tipo de sollicitación se requiere reparar el daño, refiriéndose a daños por compresión, tracción u otros esfuerzos que provocaron el daño.

- Tipo de sollicitación que preside en los componentes críticos (compresión, tensión, flexión o torsión).
- Evaluar qué tipo de unión es mejor para conectar el refuerzo.
- Asegurar el acceso donde se supone adicionar el material.

Rigidización

En la estructura se origina pandeo problemas que puede ser corregido mediante refuerzos en los elementos de paredes delgadas, comprende lo siguiente (U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2012):

- Añadir atiesadores perpendicular al alma a lo largo de las vigas ya sea de placa o cajón.
- Añadir rigidizadores en forma longitudinal en el alma entre los atiesadores.
- Se puede aumentar el espesor ya sea de los patines o del alma.
- Agregar restricciones o apoyos que reduzcan la longitud de pandeo efectiva.

Uniones

Soldadura

El método de la soldadura es práctico para agregar el material adicional, para realizar se recomienda identificar si el material base posee soldabilidad, seguido de un diseño de la soldadura. Es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La soldadura puede causar un efecto de calentamiento en el elemento, y podría cambiar las propiedades del componente soldado.
- Puede distorsionar o producir un riesgo de pandeo en elementos delgados.
- Se debe colocar la protección adecuada, el trabajo de soldadura puede causar quemaduras si no se realiza correctamente.
- Posterior protección para la soldadura ante los factores ambientales.

Empernada

Los pernos son materiales de reparación fácil, sin embargo, utilizan más espacio que las soldaduras. Existen dos tipos de conexiones empernadas: por aplastamiento y uniones por deslizamiento crítico. En la normativa ATM indica que los pernos utilizados son: A307, A325 y A490.

Uniones Por Aplastamiento. Son uniones colocadas que resisten por fuerza cortante, y se debe revisar para evitar el aplastamiento en la placa, para ellos se analiza: el esfuerzo de tracción de los elementos conectados, la fuerza cortante que se produce en el perno y su aplastamiento en los elementos

Limpieza De Escombros Y Vegetación

En la estructura metálica puede existir acumulación de escombros lo que originan daños a los elementos estructurales, por lo que es indispensable realizar la limpieza con herramientas adecuadas.

Se debe limpiar manualmente todos los elementos del puente para remover toda la suciedad, basura, escombros, vegetación, aceite, y otros, y de esta forma permitir que los elementos funcionen de manera adecuada para brindar seguridad y comodidad a los usuarios.

La intención es eliminar las impurezas de la estructura, entre ellas, la vegetación creciente en los alrededores, pues daña la estética del lugar. Para ello, se sigue el siguiente procedimiento:

- Una vez colocada la protección adecuada, se procede con el desbroce de la vegetación, de ser la limpieza manual, el uso de herbicidas es opcional, con la ayuda de una bomba de fumigación se puede esparcir por toda la vegetación que afecta la estructura.

- Posterior a ello, se procede con la ayuda de un rastrillo a retirar la maleza y depositarla en un recipiente adecuado (cubo de plástico para transporte).
- Se puede utilizar el machete, que es excelente para abrirse paso entre la vegetación arbustiva y de tallo fino.
- Antes de usar el instrumento, se debe mantener sus manos libres, por lo que, se debe despojar de accesorios como anillos, reloj, pulseras o lo que pueda afectar en el uso del machete.
- Usarlo lejos de compañeros de trabajo, ya que se puede resbalar y dañar a las personas del alrededor.
- Usarlo con las manos secas y que no contengan sudor.
- Revisar si los remaches del mango están en buen estado.
- Si no está en uso, el machete debe mantenerse en funda para evitar que más personas se puedan lastimar.

Protección

Para proteger las zonas de la vegetación, es importante mantener una limpieza periódica, esto depende del inspector a cargo y su experticia en los alrededores, determinando cual será la siguiente limpieza apropiada para evitar el daño estético de la estructura por la vegetación.

Reparación De Hormigón Armado

Fisuras

El elemento que se encuentre afectado con fisuras, se puede reparar de la siguiente manera:

- Se debe preparar la superficie, donde se limpia con soplado.
- Se debe hacer un corte junto a la fisura en tipo v no muy grande, esto para que el sellador que se ocupará llegue hasta el lugar más fino de la grieta.

- Posterior a ello, se mezcla el epóxico de acuerdo a las especificaciones del fabricante en un recipiente plástico y se coloca o se inyecta en la ranura.
- Se puede llevar a cabo la inyección del epóxico, mediante boquillas situadas en la grieta hasta que el material rebose por la fisura.
- Finalmente se cierra la ranura por completo.
- Para terminar la reparación se hace una mezcla de cemento, agua, arena y sellador si es posible, y se coloca en la grieta para cerrar las imperfecciones superficiales.
- Si la fisura no es el producto de los esfuerzos o de carácter estructural, se realiza el procedimiento anterior, sin embargo, se puede reemplazar el sellador o epóxico por una lechada de cemento (agua y cemento supliendo al epóxico).

Grietas

La reparación consiste en mantener la condición estructural de los elementos de concreto reforzado y prevenir daños más graves, para la reparación la grieta debe tener un grosor a 0,33 mm (0,013”) en una inspección visual de campo. El procedimiento es similar a las fisuras, sin embargo, se puede utilizar el siguiente procedimiento (Junkers, 2021; Vilchez, 2022):

- Se limpia la zona de reparación.
- Se hace un corte en V para darle espacio al sellador.
- Se aplica el sellador y se deja secar.
- El sellador debe ser de masilla elástica a base de poliuretano.
- Si el agrietamiento que se produce no es de carácter estructural, se realiza el proceso detallado en la sección “Fisuras” descrito anteriormente.

Es importante tener a mano los anchos de grieta tolerables por el ACI 224R-01, para concreto reforzado bajo cargas de servicio. En caso de que los anchos de grieta

sean mayores a los que se encuentran en el siguiente cuadro, se debe considerar algún procedimiento para corregir este daño. Verificar los anchos en la **Tabla 16**

Tabla 16

Ancho de fisuras máximas

Condición de Exposición	Ancho de la fisura	
	in	mm
Aire seco o membrana protectora	0.016	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.012	0.30
Productos químicos descongelantes	0.007	0.018
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0.006	0.15
Estructuras para retención de agua	0.004	0.10

Nota. Tomado de (American Concrete Institute, 2019)

Por otro lado, para realizar la reparación se debe tener en cuenta la especificación de materiales:

- Mortero de alta resistencia inicial. debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Sellante y relleno para juntas y grietas: se refiere a una resina epóxica para la inyección y también se puede utilizar un sellador epóxico (masilla epóxica) para sustituir el uso del mortero. Deben cumplir con lo mencionado en la Subsección 712.01 (a) del CR-2010.

Reparación de deterioros en hormigón.

Para realizar una reparación del hormigón se sigue un procedimiento de limpieza y reemplazo, con el fin de retirar el material deteriorado y reponerlo con un material nuevo, por ello, se recomienda (Construmática, 2008):

- Primero es necesario que obre la superficie que se encuentra deteriorada, se realice un proceso de repicado manual para eliminar todo escombros que pueda impedir la adherencia del nuevo material que se va a colocar.
- El deterioro llega hasta la armadura, es necesario de limpiar colocando un chorro abrasivo de arena para dejar la superficie limpia de toda huella de óxido.
- Posterior a ello, se coloca la capa de revestimiento anticorrosivo sobre las armaduras.
- Después, es necesario de colocar una mezcla de cemento denominada mortero y resinas sintéticas que se puede revisar en la norma ACI 211.1 para seguir sus especificaciones o utilizar el método que el profesional considere apropiado.
- Es importante aclarar que la mezcla debe ser ideal para mejorar la resistencia mecánica y pueda adherirse correctamente a la estructura.
- Por último, se recomienda poner una capa protectora de impermeabilizante.

Recuperación de apoyos afectados por fallos

El apoyo en esta situación se refiere a la zona que tiene contacto entre los elementos estructurales (cojinetes, muelles, por lo general el material es de neopreno). Esta recuperación se la puede definir como el trabajo de sustituir o recolocar los apoyos, dependiendo del daño que tenga el elemento. Se puede seguir el procedimiento mostrado a continuación (Construmática, 2008):

- Se debe limpiar la superficie de pilas o estribos, removiendo toda impureza para colocar los gatos hidráulicos.
- En caso de que, el espacio en las pilas o estribos no sea suficiente para colocar los gatos hidráulicos se puede montar una estructura metálica desde la cimentación.

- Para colocar los gatos adecuados se debe llevar a cabo un análisis de la reacción vertical por cada apoyo que se pretenda recuperar.
- Una vez instalados los gatos se debe mantener una nivelación correcta para empezar a cargar el peso en lugar del apoyo.
- Se iza o levanta a la superestructura (tablero), lo suficiente para realizar el trabajo de sustitución o recolocación dependiendo del daño, por ejemplo, se recoloca en caso de deslizamiento y se reemplaza en caso de rupturas o desgaste.
- Si el apoyo se ha deslizado es recomendable construir un Zuncho perimetral de hormigón o metal (criterio del profesional), sin embargo, si se realiza de hormigón preferible efectuarlo con un mortero de fraguado rápido y de altas resistencias, con el objetivo de impedir el deslizamiento del apoyo.

Pilas erosionadas

Para proteger y reparar los pilares erosionados se puede llevar a cabo el siguiente procedimiento (Construmática, 2008):

- Se limpia toda la pila (se puede realizar con el método que elija el profesional).
- Se realiza un Zuncho perimetral con un mínimo de espesor de al menos 10 cm.
- Para ello, se levanta primero el encofrado alrededor de la pila con una forma de tajamar (servirá para dividir la corriente del agua) hasta una altura específica dependiendo del daño.
- Se pone la armadura de varilla de acero corrugado y se realiza el cosido correspondiente.
- Por último, se efectúa el hormigonado (es recomendable que el hormigón sea de 25 MPa) y después del fraguado se retira el encofrado.

- Una segunda opción es ubicar un muro de roca alrededor de la pila en forma curva, esto depende del tema de costos que se evalúe y sobre todo el criterio del profesional.

Pavimento con socavaciones en puentes metálicos

En ocasiones se pueden generar socavaciones en la cimentación de una estructura y se procede a un asentamiento de la pila o estribo, si el asentamiento es pequeño, pero causa daños en el pavimento, para reparar la anomalía se realiza el proceso mostrado a continuación:

- Para iniciar la reparación primero se limita el daño y se efectúa el picado y la remoción de la superficie de rodadura que presentó los daños (toda la capa dañada de pavimento debe ser removida).
- Posterior a ello, se procede con el armado del encofrado, en este caso el encofrado se debe realizar con chapas de acero galvanizadas.
- Después se hace el proceso de hormigonado del pavimento (por lo general es 20 cm, depende de la superficie de rodadura).
- Finalmente se impermeabiliza el tablero con mortero bituminoso con fibras y áridos.

Control de protección contra el desgaste

Se realiza el control dependiendo del tipo de desgaste que ataca, ver **Tabla 17**:

Tabla 17

Tipo de desgaste

Desgaste adhesivo	La superficie se debe lubricar Colocar aditivos como: Grafito y sulfuro de molibdeno Utilizar materiales como teflón
Desgaste abrasivo	Utilizar elastómeros como caucho o polímero. Utilizar aceros de Hadfiel.
Desgaste por erosión	Utilizar elastómeros.

	Utilizar aceros al manganeso Utilizar cerámicos
--	--

Control de fatiga de puentes colgantes

Para evitar la fatiga en la estructura se debe utilizar aceros con mejores propiedades metálicas, disminuir los esfuerzos residuales mediante tratamientos térmicos y además el técnico debe controlar el tipo y magnitud de las cargas repetidas, también reducir la velocidad de cargas.

Protección ante fatiga

Una protección ante la fatiga no existe como tal, sin embargo, se puede prevenir durante el diseño del cálculo estructural, donde se diseñe a los elementos de manera que puedan resistir durante el funcionamiento activo de la estructura.

Protección en los apoyos

Los estribos tienden a erosionarse por el contacto con el suelo y el agua, por lo que las técnicas para protegerlos y mitigar la erosión están vinculadas en el diseño de los elementos, como el recubrimiento. Además, la construcción de otras obras ayuda a mantener la integridad del elemento como los muros de encausamiento, vanos sumergidos, pilas de sacrificio y más estructura que pueden ayudar a la protección de los apoyos o estribos.

Los muros de encausamiento o guía, han resultado ser más efectivos para proteger las estructuras frente a otros sistemas de protección, además, si poseen forma elíptica y de construcción con transparencia nula tienen mejores resultados ya que evitan el contacto directo con el flujo del agua, ya que evita el escurrimiento o el paso del agua por filtración al estribo.

Recomendación Para La Reparación De Puentes De Acero

En las estructuras de acero los daños pueden ser identificados con mayor facilidad, como es el caso de corrosión, fatiga, otros. Por lo que de manera general se recomienda realizar lo siguiente:

- Se debe planificar una limpieza general en la superficie de los elementos de la estructura para prevenir las grietas.
- En el caso de determinar grietas menores a 8 a 10 milímetros se debe realizar actividades para eliminar con ayuda de piedra esmeril.
- Al determinar grietas en los angulares de las alas de las vigas se debe reparar mediante cubrejuntas angulares.
- En la inspección se debe cuantificar los remaches, en el caso que se identifique remaches sueltos se debe ejecutar el proceso de reparación con el propósito de mantener la estructura con un buen estado funcional y estético.
- Se debe realizar ensayos con equipos especializados como ultrasonidos y rayos x, con el objetivo de tener un control de calidad de soldaduras en los cordones del puente.

Rehabilitación

Debido a la falta de mantenimiento las estructuras de acero llegan a tener deterioros que superan los niveles permisibles, por lo que se debe realizar actividades de rehabilitación con el objetivo de devolver la estructura un nivel de servicio aceptable.

Además, al existir un daño en el elemento estructural donde su reparación no es económica y técnica, se debe realizar el reemplazo del miembro estructural. Para ello se debe realizar un estudio minucioso para determinar la mejor alternativa para el reemplazo. A continuación, en la **Tabla 18**, se detalla la ficha correspondiente donde se detallará la reparación

Tabla 18*Ficha de procedimientos para reparaciones*

FICHA DE MANTENIMIENTO		
DAÑO/S:		
TIPO DE REPARACIÓN:	RESPONSABLE:	
ELEMENTO:	Maestro: <input type="checkbox"/>	Peón: <input type="checkbox"/>
	Profesional: <input type="checkbox"/>	Todos: <input type="checkbox"/>
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO	
PLANEACIÓN:		
HERRAMIENTAS:		
MATERIALES:		
MEDIDAS DE SEGURIDAD:		
RECOMENDACIONES:		
PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACION:		
Paso 1:	Paso 2:	

Capítulo VII - Caso De Estudio

Antecedentes

El puente ubicado en el cantón el Pangui, parroquia de Tundayme, fue construido en el año 1990 por la entidad del Ministerio de Obras Públicas, conformado por elementos de madera y acero, siendo de uso peatonal.

En el año 2000, el puente se encontraba deteriorado y por la necesidad de los usuarios para trasladarse, se realizaron obras de reconstrucción. El nuevo puente era de uso vehicular, con elementos de acero y hormigón.

Según lo investigado en la comunidad y al no existir respaldo de planos, no es posible determinar las condiciones iniciales en las que se encontraba el puente. Además, se puede observar en la actualidad sus deficiencias estructurales. Con el pasar del tiempo las deficiencias se han convertido en afecciones graves que se pueden observar visualmente, por lo que la entidad municipal ha restringido sus cargas, prohibiendo el paso vehicular.

Por otra parte, los elementos estructurales y no estructurales presentan anomalías que comprometen a la seguridad de los usuarios. Es por ello, que se eligió como caso de estudio el puente sobre el Río Quimi, con el objetivo de realizar un diagnóstico para determinar el estado actual del puente, para establecer si la propuesta del manual de mantenimiento cumple con todos los requerimientos de inspección y mantenimiento para su correcto desempeño estructural.

Metodología

Se realizará una inspección visual con el objetivo de identificar las anomalías en la estructura como; corrosión, fisuras, objetos que interfieren en la funcionalidad de ciertos elementos, etc. Además, se realizará el registro fotográfico con uso de dron y se determinará de manera visual el estado actual del puente.

El tema práctico con respecto a la evaluación estructural no se llevarán a cabo los ensayos como la prueba de chispa, radiografía, etc. Debido a temas económicos, inseguridad sobre los equipos de alto costo y falta de tiempo. Sin embargo, se aconseja tener en cuenta siempre un análisis estructural para identificar, verificar y localizar las anomalías del puente. Además, enfatizar los daños más críticos para de esta manera realizar la recomendación de mantenimiento o si el elemento necesita rehabilitación del mismo. Para el análisis es importante tener a mano los planos con memoria de cálculo y diseño estructural, en caso de no tener la información basarse en las normas para verificar el cumplimiento de los materiales.

De igual manera, Se planteará un mantenimiento para el puente analizado, en el cual se detallará la rehabilitación o reparación para cada anomalía encontrada, haciendo uso de la propuesta del manual planteado anteriormente.

Inspección

Se realizó una visita técnica el día 23 de abril para reconocimiento del lugar, y sus alrededores, con el propósito de examinar el acceso a la estructura. Además, de determinar los implementos, materiales o equipos necesarios para llevar a cabo una buena inspección.

Para ejecutar la inspección adecuadamente se dividió en días de estudio, para la inspección de la superestructura se inició el día 30 de abril del 2022 y se culminó el 3 de mayo del 2022. De igual manera se realizó la inspección de la subestructura los días 7 de mayo hasta el día 9 mayo del 2022.

Para culminar con la primera etapa, se realizó una inspección visual el día 14 y 15 de mayo del 2022 a los elementos auxiliares de la estructura. Los resultados obtenidos se presentan a continuación de acuerdo a cada ficha llenada como se detalla

en el capítulo III, en la sección Fichas Técnicas De Inspección Y Evaluación De Puentes.

Tabla 19

Ficha técnica 1: Características generales

INVENTARIO BÁSICO DE PUENTES					
Fecha:	<i>30 abril del 2022</i>				
Inspeccionado por:	<i>Marlon Ñamagua; Antonieta Cayamcela</i>				
Vehicular/peatonal:	<i>Peatonal y vehicular; actual restricción vehicular</i>				
N° tramos:	<i>3</i>				
Comentarios:	<i>No se posee información de normas utilizadas, ni fechas de mantenimiento</i>				
Identificación del puente					
Nombre del puente:	<i>Puente de Churuwia</i>	Parroquia:	<i>Tundayme</i>		
Provincia:	<i>Zamora Chinchipe</i>	Temperatura promedio:	<i>22 °C</i>		
Cantón:	<i>El Pangui</i>	Tipo de infraestructura:	<i>Acero y hormigón</i>		
Año de construcción:	<i>1990</i>	Año de reconstrucción:	<i>2000</i>		
N° de carriles:	<i>1</i>	constructor:	<i>Desconocido</i>		
Longitud del puente:	<i>101 metros</i>	ancho del puente:	<i>2.20 metros</i>		
Información geométrica					
Superficie de rodadura		Vigas transversales		Vigas longitudinales	
Espesor (mm):	<i>3</i>	N° de vigas:	<i>101</i>	N° de vigas:	<i>4</i>
Ancho (m):	<i>2.20</i>	Sección (cm):	<i>Tipo cajón 10x10x0.3</i>	Sección (cm):	<i>Tipo C 10x5x0.2</i>
Longitud (m):	<i>101</i>	Separación:	<i>1 m</i>	Separación:	<i>0.65 m</i>
Torre de sustentación		Cable		Péndola	
Altura columna(m):	<i>9.20</i>	Diámetro:	<i>1 ¼ in</i>	Diámetro:	<i>12 mm</i>
Sección columna (cm):	<i>40x60</i>	N° de cables:	<i>2</i>	Espacio entre péndolas:	<i>1 metro</i>
				N° de péndolas:	<i>202</i>

Longitud viga (m):	2.40	Anclajes		Tensores	
Sección viga (cm):	40x40	N° de anclajes:	4	N° de tensores:	4
Baranda					
Altura de baranda (m):	0.8		Longitud de la baranda (m):	71	
Zapatas					
Profundidad (m):	No disponible	Ancho (m):	3.6	Largo (m):	1.20
Anclaje					
Profundidad (m):	No disponible	Ancho (m):	1.5	Largo (m):	5.80
Antecedentes de inspección:					
<i>No se tiene información de inspecciones anteriores.</i>					
Antecedentes de rehabilitación:					
<i>No existe información del proceso de rehabilitación, pero se puede observar visualmente algunas modificaciones realizadas.</i>					

Tabla 20

Ficha técnica 2: Detalle de superestructura

Logotipo	FICHA DE INSPECCIÓN		
	“INSPECCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA”		
Evaluador:	<i>Marlon Iñamagua; Antonieta Cayamcela</i>		Fecha/Hora: 30/04/2022- 03/05/2022
Tipo de superestructura:	Acero		
Elemento	Descripción	Comentario	
Superficie de rodadura	Está compuesta por laminas antideslizantes, soldadas y empernadas.	No se tiene información exacta de las especificaciones para el uso de los materiales	

Viga longitudinal	Compuesta por correas de acero tipo c, sección 100x50x2 mm					No se tiene información exacta de las especificaciones para el uso de los materiales
Viga transversal	Viga cuadrada de acero, sección 100x100x3 mm					
Sistema de arriostramiento	Lado derecho esta soldado a 2 pilas de sección de 10x10 cm, mientras que el lado izquierdo esta sobre un caballete de hormigón tipo marco, de igual sección					
METRADOS						
Metrado Elemento	longitud (m)	N° de elementos	Ancho	total	Unidad	Detalle:
Superficie de rodadura	101	1	2.20	222.2	m2	Medida adoptada desde el inicio del tablero hasta el final siendo una medida en área
Viga longitudinal	101	4	-	404	m	Medida adoptada desde el inicio del tablero hasta el final siendo una medida de longitud
Viga transversal	2.4	101	-	242.4	m	Medida de manera longitudinal
Sistema de arriostramiento	-	4	-	3	u	Se analizará como elemento de conexión o por unidad

Tabla 21

Ficha técnica 3: Detalle de subestructura

Logotipo	FICHA DE INSPECCIÓN		
	“INSPECCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA”		
Evaluador:	<i>Marlon Ñamagua; Antonieta Cayamcela</i>	Fecha/Hora:	07/05/2022- 09/05/2022
Elemento	Descripción		Comentario
Péndola	Acero de refuerzo-varilla lisa		De acuerdo con la

		de 12mm					conformación del puente, se ha utilizado varilla lisa para menorar costos y es fácil conexión con la viga transversal, ya que está unida por medio de una rosca al final de la varilla, además, la varilla lisa se puede hacer rosca con mayor facilidad
Cable principal		2 cables de acero de 1 ¼ in en una misma línea como refuerzo para que el puente sea vehicular					El cable luce en buen estado y de gran resistencia
Torre de sustentación (Viga de rigidez)		sección de 0.4*0.4, construida de hormigón armado, el ancho entre columna es de 2.40 metros.					Medición manual, no hay archivos disponibles para efecto de estudio
Torre de sustentación (columna)		La columna tiene una sección de 0.60x0.40 de hormigón armado. Presenta una altura total de 9.20 metros.					No se presenta planos, las mediciones se hicieron de manera manual
Anclajes		Son el contrapeso para el cable, se sección 5,8*1.5 m					No se tiene detalles de la profundidad que mantiene y no se puede saber el contrapeso exacto que realiza
Zapatas		Se define a la cimentación que se encuentra bajo la torre y el tablero, que tiene ya contacto directo con el suelo					No se tiene detalles de la profundidad que mantiene y no se puede saber si la construcción esta correcta o si ha habido algún asentamiento
METRADOS							
Metrado Elemento	longitud (m)	N° de elemento s	Ancho	Tot.	Unid ad	Detalle:	
Péndola	-	202	-	202	U	Se contabiliza cuantas varillas existen independiente de su longitud.	
Cable principal	-	4	-	4	U	Se cuenta los cables por unidad debido a su facilidad, independiente de su longitud.	
Torre de sustentación (Viga de	2.4	4	-	9.6	m	El daño se analiza a lo largo de la viga de rigidez, es decir, en	

rigidez)						forma horizontal.
Torre de sustentación (columna)	9.2	4	-	36.8	m	Los daños que se analizarán estarán a lo largo de la columna, es decir de forma vertical
Anclajes	-	4	-	4	U	Se contabiliza por unidad debido a falta de información de la profundidad del elemento.
Zapatas	-	4	-	4	U	Se contabiliza por unidad debido a falta de información de la profundidad del elemento.

Tabla 22

Ficha técnica 4: Detalle de accesorios

Logotipo	FICHA DE INSPECCIÓN		
	“INSPECCIÓN DE ACCESORIOS”		
Evaluador:	<i>Marlon Ñamagua; Antonieta Cayamcela</i>	Fecha/Hora:	14/05/2022- 15/05/2022
Elemento	Descripción		Comentario
Conexiones	<p>Conexión péndola-cable (Grillete): está constituido por una placa de acero doblada en forma de anillo en su centro para que se cargue en el cable y se sostiene a la péndola por un perno.</p> <p>Conexión péndola-viga transversal: La conexión está hecha por una tuerca enroscada al final de la péndola y que sostiene la viga transversal.</p> <p>Conexión cable del pasamanos-malla: Se denomina con un candado pequeño que ayuda a sostener la maya ubicados en cada péndola.</p> <p>Conexión del cable: candados de 1 1/4"</p> <p>Conexión cable-torre: Denominada Galápagos, o silletas, son</p>		<p>No hay información relevante a cada conexión, no se sabe qué tipo de acero estructural es o la especificación técnica que se debió utilizar.</p>

	de acero o conjunto de placas de acero. conexión cable-cimentación (templador): Colocado 4 templadores para cable de 1 1/4 una en cada anclaje.	
Pasamanos o protección	Malla de protección: Malla tipo rombo de 0.8x71 m Cable del pasamanos: Cable de acero de 14 mm	La malla funciona como protección, pero no tiene ningún funcionamiento estructural. El cable no funciona como componente estructural, solo esta para sostener la malla y funciona como protección. No hay especificaciones técnicas de los materiales.

METRADOS

Metrado Elemento	longitud (m)	N° de elementos	Ancho	Tot.	Unidad	Detalle:
Conexión péndola-cable (Grillete)	-	200	-	-	U	piezas de candados en forma de anillo que conectan solamente el cable y la péndola
Conexión péndola-viga transversal	-	200	-	-	U	Numero de tuercas totales de unión entre la péndola y la viga transversal
Conexión del cable	-	15	-	-	U	El número de candados existentes
Conexión cable del pasamanos-malla (Candado)	-	142	-	-	U	numero de candados que unen la malla a la péndola
conexión cable-torre	-	4	-	-	U	Los galápagos ubicados en las torres
conexión cable-cimentación	-	4	-	-	U	Numero de templadores, como sugerencia deberían ser

(templador)						necesariamente solo 2
Malla de protección	71	1	2.2	156.2	m2	La malla esta puesta de torre a torre.
cable del pasamanos	71	4	-	284	m	el cable está dispuesto a lo largo del puente solo entre las torres.



Ficha técnica 5: planos

La información inicial que fue brindada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, indicaron que no existe los planos estructurales del puente. Razón por la cual no se analizó los planos. Al no tener acceso a estos planos, no se pudo determinar si existieron fallas antiguas que hayan aportado en las fallas actuales.

Al no tener una memoria de cálculo del puente, ya que en el MTOP no hubo registro alguno, no se pudo analizar a profundidad algún fallo en el diseño y construcción.

Tabla 23

Ficha técnica 6: Fotografías

Fotografías de la estructura	
Nombre del puente	Fotografía de la vía
No tiene rotulo del nombre del puente.	
	
Vista general	Vista lateral



Vista inferior



Vista cauce del rio



Tabla 24

Ficha técnica 7: Inspección de puente grado de daño

Logotipo		FICHA DE INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS							
		“INSPECCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA”							
Evaluador:		<i>Marlon Ñamagua; Antonieta Cayamcela</i>		Fecha/Hora:		30/04/2022-15/05/2022			
Grados de daño									
MUY BUENO: 0			REGULAR: 2		MUY MALO: 4				
BUENO: 1			MALO: 3		PESIMO: 5				
ESTADO GENERAL SINTOMÁTICO									
N.º	Elemento	Grado de daño	Patologías (Ítem)	Cantidad afectada					Descripción
				longitud (m)	Nº de elementos	Ancho	Total	Unidas	
1	Superficie de rodadura	3	4	91	1	2.2	200.2	m2	la oxidación se encuentra a lo largo de todo el tablero
2	Superficie de rodadura	3	2	-	8	-	8	U	se presentan grietas de < 15 cm en la superficie de rodadura, divididas en alrededor de 8 grietas
3	Superficie de rodadura	2	8	-	2	-	2	U	se presenta una ondulación en el tablero a la salida del puente


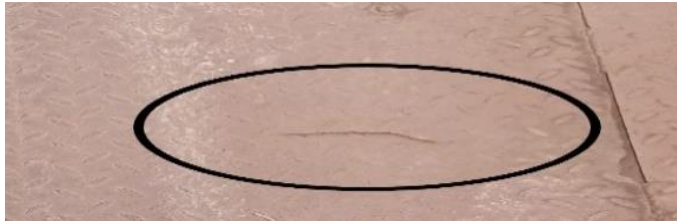


4	Superficie de rodadura	3	12	-	12	-	12	U	se observa una falta de colocación de pernos, o pérdida de los mismos.
5	Superficie de rodadura	3	2	-	15	-	15	U	Presenta rotura total de la soldadura en 15 uniones
6	Superficie de rodadura	3	2	-	7	-	7	U	presenta al menos 15 puntos de roturas del elemento a lo largo de todo el tablero
7	Viga longitudinal	4	6	-	1	-	1	U	Se presenta una pérdida de material debido a la suelda, al arriostrar el puente con una columna su conexión dejo un orificio en la viga longitudinal.
8	Viga longitudinal	4	2	-	1	-	1	U	La viga longitudinal presenta una rotura parcial en la entrada al puente
9	Viga longitudinal	4	2	-	4	-	4	U	Presenta una rotura total en la conexión por soldadura al final del puente justo en la parte superior de la cimentación, incluyendo a 5 metros hacia la salida a la carretera donde existen más roturas de sus uniones
10	sistema de arriostramiento	5	6	-	3	-	3	U	Desprendimiento total al inicio del puente, debido a una mala soldadura, o a una conexión inestable, lo que produce desplazamientos horizontales.
11	Péndola	2	4	-	70	-	70		presenta rasgos de oxidación
12	Péndola	2	6	-	20	-	20		Contiene descascaramiento en ciertas péndolas

13	Péndola	3	5	-	60	-	60		Presenta vegetación en sus elementos dañando la estética de la estructura y aumentando el peso sobre el elemento
14	Péndola	2	9	-	50	-	50	U	Presenta pandeos al final del puente cerca de las torres
15	Conexión péndola-cable (Grillete)	3	13	-	8	-	8	U	candados muy grandes, que produce el deslizamiento del candado y por ende desviación de la péndola, que produce desplazamientos verticales muy notorios en ciertos lugares del puente.
16	Conexión péndola-cable (Grillete)	4	1	-	200	-	200	U	Debido a la humedad se produce una decoloración
17	Conexión péndola-viga transversal	2	12	-	6	-	6	U	Falta de tuercas, o pérdida de las mismas que termina con la trasmisión correcta de las cargas
18	Conexión del cable	4	12	-	6	-	6	U	Candados correctos sin defecto, pero con pérdida o faltante de candados de acuerdo a la normativa
19	Conexión cable del pasamanos-malla (Candado)	3	12	-	7	-	7	U	perdida de tuerca de los candados
20	conexión cable-torre-	1	-	-	-	-	-	U	No se encuentra un daño
21	conexión cable-cimentación	3	5	-	4	-	4	U	vegetación que puede producir concentración de humedad, por ende, oxidación del material o debilitación

	(templador)								del mismo.
22	Malla de protección	3	14	0.35	2	0.8	0.56	m2	Presenta rotura de la malla en ciertas zonas del pasamanos o protección
23	Cable del pasamanos	4	3	1.5	1		1.5	M	presenta rotura total del elemento a la salida del puente,
24	Columna	2	1	2	2	2.4	9.6	m2	Presenta decoloración, además, de no presentar fisuras
25	viga de rigidez	4	3	2.1	1	0.4	0.84	m2	Presenta desgaste del recubrimiento y desprendimiento del material de hormigón, pero no expone el acero de refuerzo.
26	viga de rigidez	2	1	2.1	3	3.6	22.68	m2	presenta decoloración debido a la humedad
27	Zapatas	2	5	1.2	2	3.6	8.64	m2	Vegetación que puede causar conceptuación de humedad o afectación a las propiedades físicas o mecánicas del material, no presenta otra alteración o daño en la estructura
28	Anclajes	2	5	5.8	4	1.5	34.8	m2	Vegetación que puede causar conceptuación de humedad o afectación a las propiedades físicas o mecánicas del material, no presenta otra alteración o daño en la estructura
29	Cable principal	0	-	-	-	-	-	U	No se encontró con algún daño.

Tabla 25

Ficha técnica 8: Inspección de puentes registro fotográfico de daños

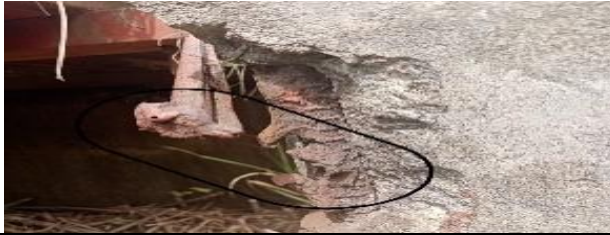
Fotografías de las patologías en el puente	
Superficie de rodadura	
	
	



Viga longitudinal



Sistema de arriostamiento



Péndola



Conexiones






Cimentación y Anclajes**Mantenimiento**

En esta sección se muestran las fichas correspondientes al mantenimiento que se puede realizar en el caso de estudio para su reparación y posterior apertura al público brindando seguridad.

Tabla 26

Ficha de mantenimiento por eflorescencia

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Decoloración o eflorescencia	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Reparación de la superficie: Limpieza con Manual 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="checkbox"/> Peón: <input type="checkbox"/> Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> Todos: <input type="checkbox"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> Péndola Cimentación Vigas transversales Viga de rigidez Columna de apoyo. 	
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO Debido a la humedad y vegetación alrededor de la zona, la eflorescencia es evidente, se esparce en las péndolas y la cimentación de hormigón, además, se extiende en los extremos de las vigas transversales.	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO 
PLANEACIÓN: Verificar si el área se encuentra libre de escombros y otros materiales perjudiciales Aplicación de pintura protectora en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida.	
HERRAMIENTAS: <ul style="list-style-type: none"> Cepillo de acero Herramientas menores Liga (para el concreto) MATERIALES: <ul style="list-style-type: none"> Gel de limpieza ácido a base de agua 	

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.

RECOMENDACIONES:

- Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
- Se recomienda realizar la limpieza cuando se encuentre el daño después de cada inspección y si el grado de severidad de daño es ≤ 2 .

PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:

Paso 1: humedecer la superficie con el gel de limpieza a base de agua	Paso 2: Se deberá cepillar manualmente la superficie afectada hasta la completa eliminación de la eflorescencia, aplicar con fuerza y en forma circular.	Paso 3: Se lava la superficie para retirar las escorias sueltas
Paso 4: Dejar secar la superficie a temperatura ambiente o secarlo de manera manual		

Tabla 27

Ficha de mantenimiento para Grietas o fisuras

FICHA DE MANTENIMIENTO**DAÑO/S:**

Grietas o fisuras


TIPO DE REPARACIÓN:

- Reparación de la superficie:
Limpieza manual
- Reparación de grietas

RESPONSABLE:

Maestro:

Peón:

<p>ELEMENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tablero metálico • Vigas longitudinales 	<p>Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> Todos: <input type="checkbox"/></p>
<p>DESCRIPCIÓN DEL DAÑO</p> <p>se presentan grietas de 20 cm en los elementos estructurales.</p>	<p>DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO</p> 
<p>PLANEACIÓN:</p> <p>Identificar el daño a lo largo del metal para posterior medir el ancho de la grieta.</p>	
<p>HERRAMIENTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cepillo de acero • Herramientas menores • Taladro • Soldadora • Brocha <p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gel de limpieza acido a base de agua • Suelda. • Placa de metal. 	
<p>MEDIDAS DE SEGURIDAD</p> <p>Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga</p>	

larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.

RECOMENDACIONES:

- Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
- Para escoger la suelda adecuada se debe revisar el código de la soldadura AWS


PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:

Paso 1: Se limpia alrededor de la grieta en el elemento, eliminando cualquier rastro de impurezas, pintura entre otros.	Paso 2: Se realiza 1 orificio a los extremos de la grieta para detener el avance de la grieta.	Paso 3: Se lima la superficie agrietada, a esto se le denomina chaflado, para que la suelda y el material base interactúen de manera adecuada.
Paso 4: Se debe limpiar la escoria, y mantener seca la zona	Paso 5: Posterior a ello, se coloca una placa de acero por debajo de la grieta	Paso 6: Se suelda con la técnica cordón en hilera.
Paso 7: Se limpia la escoria de la suelda y se golpea el cordón.	Paso 8: En caso de que la grieta sea sobre la suelda, el proceso a seguir es desgastar la suelda y repetir el proceso sin la ayuda de la placa de acero.	

Tabla 28

Ficha de mantenimiento para Roturas de elementos o desprendimiento del material

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Roturas de elementos o desprendimiento del material	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Reparación de desprendimiento del material (Hormigón) 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="checkbox"/> Peón: <input type="checkbox"/> Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> Todos: <input type="checkbox"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> • Viga de rigidez 	


<p>DESCRIPCIÓN DEL DAÑO El daño se extiende sobre la viga de rigidez de la torre de sustentación, en la cual se aprecia claramente el desprendimiento del recubrimiento de la viga.</p>	<p>DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO</p> 	
<p>PLANEACIÓN: Remover todo el concreto dañado de la superficie para posterior colocación de mortero para reponer la sección que se ha desprendido.</p>		
<p>HERRAMIENTAS: Herramientas menores: bailejo, pala, paleta, carretilla, martillo.</p> <p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cemento • Agua • Resina epóxica • para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881). 		
<p>MEDIDAS DE SEGURIDAD Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.</p> <p>RECOMENDACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al realizar la reparación se debe tener precaución de no dañar la armadura. • Se debe realizar en climas adecuados, es decir, evitar las condiciones lluviosas o que la temperatura sea mayor a 32 °C. • Se revisa la Sección 607: reparación superficial de elementos de concreto en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia. 		
<p>PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:</p>		
<p>Paso 1: Definir el área que se debe remover, limpiar el concreto debilitado, para ello, se puede hacer uso del martillo para golpear el hormigón dañado ya que se producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco.</p>	<p>Paso 2: El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra a la misma profundidad del descascaramiento.</p>	<p>Paso 3: moler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano y firme. En caso de que se llegue hasta el acero de refuerzo se debe aplicar el procedimiento de reparación de acero expuesto.</p>

Es importante que el área remarcada sea cuadrada con lados paralelos os y perpendiculares a los ejes de la viga.		
Paso 4: Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.	Paso 5: Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.	Paso 6: Colocar el mortero (según las especificaciones del fabricante) en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica.
Paso 7: Darle acabado a la superficie de concreto con ayuda de la paleta	Paso 8: curar el mortero según las especificaciones del fabricante	Paso 9: Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

Tabla 29

Ficha de mantenimiento para Oxidación

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Oxidación.	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Reparación de oxidación. 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="text"/> Peón: <input type="text"/> Profesional: <input checked="" type="text"/> Todos: <input type="text"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> Tablero/ superficie de rodadura Péndola. 	
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO La oxidación se presenta a lo largo de todo el tablero metálico, además en los elementos péndola se tiene rasgos de daño	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO

<p>PLANEACIÓN: Verificar si el área se encuentra libre de escombros y otros materiales perjudiciales Aplicación de pintura protectora en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida.</p>		
<p>HERRAMIENTAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equipo para chorro de agua a presión • Equipo de aire a presión para el secado de la superficie • Generador portátil • Brochas, rodillos o pistolas de pintura • Herramientas menores <p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inhibidor de óxido: según el MCV-2015, debe cumplir con lo especificado en la norma SSPC-SP6. 		
<p>MEDIDAS DE SEGURIDAD</p> <p>Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.</p> <p>RECOMENDACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros. • Este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años • Se debe cumplir con las recomendaciones de la guía 3 (SSPC) SSPC-PA “Guía de Seguridad de la Aplicación de Pintura” y con los requisitos de la OSHA. 		
<p>PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:</p>		
<p>Paso 1: Se deberá limpiar toda la superficie de acero a intervenir, eliminando toda la oxidación, esto se realiza mediante la utilización de chorro de agua a presión</p>	<p>Paso 2: Secar la superficie mediante el equipo de aire a presión.</p>	<p>Paso 3: Proteger las superficies adyacentes que no serán pintadas con lonas, telas o algún medio adecuado. En caso de que las superficies se</p>

siguiendo las especificaciones de la norma		contaminen antes de pintar, se debe repetir la limpieza con chorro de arena.
Paso 4: Cuando la superficie intervenida del elemento de acero se encuentre seca, aplicar el inhibidor de óxido (siguiendo las instrucciones del fabricante).	Paso 5: Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.	

Tabla 30


Ficha de mantenimiento para Vegetación

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Vegetación.	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de escombros y vegetación 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="text"/> Peón: <input type="text"/> Profesional: <input checked="" type="text"/> Todos: <input type="text"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> • Péndola • Cable principal • Anclajes • Cimentación • Templadores o tensores 	
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO Crecimiento de vegetación arbustiva en los alrededores de los elementos, lo que puede provocar aumento de humedad, corrosión, erosión u oxidación en los elementos.	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO

<p>PLANEACIÓN: Se debe tener buen clima en el momento de la reparación y tener todos los materiales y recursos listos para evitar demoras en el proceso.</p>		
<p>HERRAMIENTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bomba de fumigación • Rastrillo • Machete • Cubo de plástico <p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fungicida • Agua 		
<p>MEDIDAS DE SEGURIDAD Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.</p> <p>RECOMENDACIONES: Para limpiar las áreas de difícil acceso le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros. Este procedimiento se debe aplicar al menos una vez al año. Las operaciones de desbroce se realizaran tal forma que no cause daño alguno a los elementos y para esto el constructor colocará referencias en los sitios que se requieran.</p>		
<p>PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:</p>		
<p>Paso 1: Se deberá realizar el desbroce de la vegetación y remover cualquier maleza en los elementos mencionados</p>	<p>Paso 2: Posterior sobre un espacio conformado colocar el material para luego ser alojado.</p>	<p>Paso 3: Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizado señalados por el ingeniero.</p>

Tabla 31

Ficha de mantenimiento para Corrosión

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Corrosión.	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Reparación de la superficie: Limpieza manual 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="checkbox"/> Peón: <input type="checkbox"/> Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> Todos: <input type="checkbox"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> Viga principal y secundarias. Sistema de arriostramiento. 	
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO Por falta de mantenimiento se ha originado la oxidación que al mismo tiempo inicia el proceso de corrosión en los elementos. Además, es por falta de protección superficial como pintura anticorrosiva.	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO 
PLANEACIÓN: Eliminar la corrosión de los elementos de acero para obtener una superficie sana, limpia. Aplicación de pintura anticorrosiva en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida.	
HERRAMIENTAS: <ul style="list-style-type: none"> Cepillo de acero. Compresor de aire para la limpieza de la superficie Generador portátil Brochas, rodillos o rociadores de pintura sin aire o convencionales con filtros para excluir el aceite o agua del aire comprimido (el aire comprimido debe cumplir la norma ASTM D 4285). Herramientas menores: martillo, escoba, entre otros. 	

MATERIALES:

- Pintura anticorrosiva: según el sistema de pintura seleccionado, se deben seguir las normas respectivas, pintura para estructuras de acero, del CR-2010.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.

RECOMENDACIONES:


- Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
- Si el material pierde mas del 15% de su sección, es conveniente reemplazar el elemento.
- Este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años
- Se debe cumplir con las recomendaciones de la guía 3 (SSPC) SSPC-PA “Guía de Seguridad de la Aplicación de Pintura” y con los requisitos de la OSHA.

PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:

<p>Paso 1: Se deberá limpiar toda la superficie de acero a intervenir, eliminando toda la corrosión, esto se realiza mediante la utilización de chorro de agua a presión siguiendo las especificaciones de la norma o con la ayuda de cepillos de acero para retirar todas las impurezas o escorias y uso de agua.</p>	<p>Paso 2: Secar la superficie mediante el equipo de aire a presión y proceder a reparar la sección con la adición de material. Esto puede se realiza por medio de una placa de acero y por medio del uso de suelda o pernos para unir la nueva placa al material base.</p>	<p>Paso 3: Después de realizar la conexión de la nueva placa se limpia el área de trabajo y se deja secar con el equipo de aire a presión.</p>
<p>Paso 4: Proteger las superficies adyacentes que no serán pintadas con lonas, telas o algún medio adecuado. En caso de que las superficies se contaminen antes de pintar, se debe repetir la limpieza con chorro de arena.</p>	<p>Paso 5: Cuando la superficie intervenida del elemento de acero se encuentre seca, aplicar el inhibidor de óxido (siguiendo las instrucciones del fabricante).</p>	<p>Paso 6: Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.</p>

Tabla 32


Ficha de mantenimiento para Deformación

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Deformación.	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Reparación deformación 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="checkbox"/> Peón: <input type="checkbox"/> Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> Todos: <input type="checkbox"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> Viga principal de acero. Tablero metálico Péndola 	
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO La deformación es producto del deslizamiento de los grilletes generando el daño. Insuficiente arriostramiento.	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO 
PLANEACIÓN: Análisis estructural para conocer la afectación de dicha deformación en el funcionamiento de la estructura.	
HERRAMIENTAS: <ul style="list-style-type: none"> Gatos hidráulicos, cabrestantes, bloques de cadena, sistemas de poleas, tornillos de aparejo, entre otros. 	
MATERIALES: <ul style="list-style-type: none"> No se necesitan de materiales 	
MEDIDAS DE SEGURIDAD Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.	
RECOMENDACIONES: <ul style="list-style-type: none"> Para su reparación es necesario realizar prodecimiento de rehabilitacion. Primero deben eliminarse las deformaciones por flexión, luego las deformaciones por torsión. Las fuerzas externas máximas deben ser continuas alrededor de 15 minutos en 	

el último paso de la operación.		
PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:		
Paso 1: Colocar los gatos hidráulicos en los extremos de la deformación causada del elemento a restaurar.	Paso 2: Se ejerce presión en medio de la deformación para lograr que el elemento tome su forma inicial.	Paso 3: Revisar si el elemento rectificado no ha sufrido una ruptura a lo largo de la superficie durante el proceso de reparación.
Paso 4: En caso de presentar alguna grieta o fisura revisar el apartado de reparación de la patología indicada.	Paso 5: Colocar una capa de protección (revisar la sección limpieza de la superficie del capítulo 6)	

Tabla 33

Ficha de mantenimiento para Nidos de material

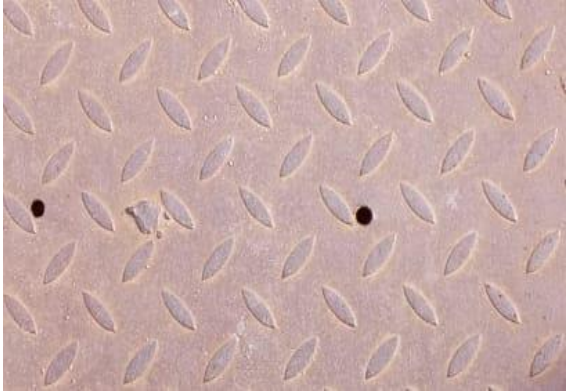
FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Nidos de material	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de la superficie: Limpieza industrial con chorro 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="checkbox"/> Peón: <input type="checkbox"/> Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> Todos: <input type="checkbox"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> • Calzada • Pilas. 	
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO Acumulación de material pétreo en forma de nido en la calzada.	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO 
PLANEACIÓN: Eliminar todo material acumulado en los elementos de la estructura para obtener un puente libre de impurezas.	

<p>HERRAMIENTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equipo para chorro de agua a presión como: bomba de agua, mangueras y otros. • Herramientas menores: cincel, pala, escoba, y otros. <p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceite lubricante o grasa 		
<p>MEDIDAS DE SEGURIDAD</p> <p>Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.</p> <p>RECOMENDACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para mantener la estructura se recomienda relizar la limpieza general al menos una vez al año. • Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros. 		
<p>PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:</p>		
<p>Paso 1: Barrer y cepillar todos los elementos para remover toda la acumulación del material.</p>	<p>Paso 2: Lavar con agua a presión la estructura para eliminar toda la suciedad y agentes extraños restantes, teniendo la precaución de no dañar la pintura. Generalmente se inicia en el punto más alto hacia el punto más bajo de la estructura</p>	<p>Paso 3: Remover las ramas, troncos, basura, etc., que se encuentren acumuladas alrededor de las pilas. Esto se puede llevar a cabo mediante equipo mecanizado o un vehículo de inspección.</p>
<p>Paso 4: Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.</p>		

Tabla 34

Ficha de mantenimiento para Perdida o falta de pernos, tuercas o algún elemento

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S:	
Perdida o falta de pernos, tuercas o algún elemento	

TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Renovación de uniones remachadas 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="text"/> Peón: <input type="text"/> Profesional: <input checked="" type="text"/> Todos: <input type="text"/>	
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> Tablero metálico Cable principal 		
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO Se puede observar que existen perforaciones en el tablero que no poseen un remache para generar la conexión adecuada.	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO 	
PLANEACIÓN: Colocar pernos en todas las aperturas que se ha perdido el remache en su totalidad.		
HERRAMIENTAS: <ul style="list-style-type: none"> Herramientas menores: llave de apriete, taladro, y otros MATERIALES: <ul style="list-style-type: none"> Pernos 		
MEDIDAS DE SEGURIDAD Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol RECOMENDACIONES: <ul style="list-style-type: none"> Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros. Verificar que el orificio tenga el diametro adecuado para introducir el perno, de lo contraio se puede hacer uso del taladro para ensanchar un poco mas el orificio hasta lograr el diametro del perno requerido. Para seleccionar el perno se puede hacer uso de la Norma ASTM: A307, A325 Y A490 		
PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:		
Paso 1: Contabilizar los puntos de inexistencia del remache.	Paso 2: limpiar los orificios, con el objetivo de mantenerlos libre de escoria.	Paso 3: Se introduce el perno en el orificio, y se enrosca con el uso de unas llaves de

		apriete.
--	--	----------

Tabla 35

Ficha de mantenimiento para Dimensiones inadecuadas


FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Dimensiones inadecuadas	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Reparación de dimensiones inadecuadas 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="checkbox"/> Peón: <input type="checkbox"/> Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> x Todos: <input type="checkbox"/>
ELEMENTO: <ul style="list-style-type: none"> Conexión cable – péndola (candado) 	
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO Se han presentado deformaciones en las péndolas debido al desplazamiento de los candados, generado por la colocación de candados con dimensiones inadecuadas	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO 
PLANEACIÓN: Rectificar los candados convenientemente a manera de que la pieza cumpla con los requerimientos de la conexión.	
HERRAMIENTAS: <ul style="list-style-type: none"> Llaves de apriete. Andamios. 	
MATERIALES: <ul style="list-style-type: none"> No solicita de materiales 	
MEDIDAS DE SEGURIDAD Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga	

larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol		
RECOMENDACIONES:		
<ul style="list-style-type: none"> • Para el áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros. • Efectuar la reparación con un profesional en forjado de acero para evitar daños de la pieza. 		
PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:		
Paso 1: Notificar el cierre temporal de la via por trabajos de reparación.	Paso 2: Colocar los andamios en la parte inferior de la viga tranversal de la cual se va a rectificar los candados.	Paso 3: Con ayuda de la herramienta menor quitar el candado del elemento
Paso 4: Trasladar la conexión hacia un lugar apropiado donde el profesional en forjado de acero a cargo realizara el proceso de rectificación.	Paso 5: colocación de la conexión con ayuda de la herramienta menor.	Paso 6: limpiar el área de trabajo

Tabla 36

Ficha de mantenimiento para Rotura del elemento

FICHA DE MANTENIMIENTO	
DAÑO/S: Rotura del elemento	
TIPO DE REPARACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Rehabilitación del elemento 	RESPONSABLE: Maestro: <input type="checkbox"/> Peón: <input type="checkbox"/> Profesional: <input checked="" type="checkbox"/> Todos: <input type="checkbox"/>
ELEMENTO: Malla de protección Cable del pasamanos	

<p>DESCRIPCIÓN DEL DAÑO</p> <p>Presenta rotura de la malla en ciertas zonas del pasamanos o protección</p> <p>En el caso de cables de pasamanos presenta rotura total del elemento a la salida del puente.</p>	<p>DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL DAÑO</p> 	
<p>PLANEACIÓN:</p> <p>Reestablecer la funcionalidad de la baranda y asegurar un tránsito seguro para los usuarios.</p>		
<p>HERRAMIENTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tenaza industrial • Herramienta menor • Grilletes <p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Malla. • Cable 		
<p>MEDIDAS DE SEGURIDAD</p> <p>Antes de realizar cualquier mantenimiento se debe colocar la protección adecuada, primero el uso de guantes y gafas de protección (en lo posible usar mascarilla de protección total cubriendo el rostro completo ante cualquier incidente), casco (de ser necesario), al igual que, el uso de arnés si se trabaja en partes altas, camisa manga larga y pantalón manga larga o se puede utilizar un overol.</p> <p>RECOMENDACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 <i>kg/cm²</i> y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro. Barandillas prefabricadas con las mismas dimensiones a las existentes (también se pueden colar en sitio). • Tratar de reemplazar el elemento dañado entre puntos de apoyo. 		
<p>PROCEDIMIENTO SEGÚN LA REPARACIÓN:</p>		
<p>Paso 1: Definir y demarcar el área de la baranda que se debe remover.</p> <p>Cortar la malla con daño significativo (junto a la pendola) utilizando tenaza industrial o herramientas manuales.</p>	<p>Paso 2: Colocar la nueva malla con ayuda de grilletes.</p>	

Capítulo VIII – Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Desafortunadamente en el Ecuador no hay registro de un manual sobre el sistema de gestión de puentes para realizar el mantenimiento periódico a los puentes en especial a las estructuras metálicas, sin embargo, es importante aclarar que existe una documentación que describe de manera breve la forma de llevar a cabo una inspección de los puentes del Ecuador denominado “DIRECTRICES PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE PUENTES DE LA RED VIAL ESTATAL 2012”.

En vista de la falta de información sobre los diseños, planos estructurales, registro de inspección y mantenimiento, se puede interpretar que no se realiza un procedimiento adecuado para inspeccionar, evaluar, controlar y mitigar los daños presentes en las estructuras.

Tal y como se ha podido comprobar con el caso de estudio realizado, la propuesta del manual de mantenimiento cumple con todo tipo de reparaciones ante los daños encontrados, los pasos propuestos en cada reparación para llevar a cabo el mantenimiento en este trabajo se justifican bajo la investigación a las normativas internacionales existentes para la reparación de las estructuras de puentes, es importante aclarar que el trabajo tiene un enfoque para estructuras metálicas.

Para plantear un mantenimiento correctivo es necesario realizar las inspecciones visuales como mínimo, esto se concluye ya que, las inspecciones realizadas permitieron determinar las anomalías más significativas en la estructura, una vez encontrados los daños se pudo plantear el mantenimiento para cada una de las anomalías encontradas y así tratar de recuperar las características iniciales del puente.

Las tablas usadas para realizar la inspección y plantear el mantenimiento son una buena opción para resumir y ordenar la información e interpretación de los daños y redactar las reparaciones de algún caso de estudio.

Con la inspección visual es suficiente para clasificar el estado del puente, sin embargo, para determinar el estado interno del puente es necesario pruebas más específicas, que permitan conocer la capacidad actual de los elementos, es decir, que permita revisar si el elemento a pesar del daño puede resistir la carga después de su reparación o si es necesario reducir el límite de carga o en su defecto reemplazar el elemento estructural por uno nuevo.

Tras el análisis del caso de estudio, en la

Tabla 24 en el elemento 10 y 15 se encontró que la estructura tiene desplazamientos horizontales y verticales por la falta de un buen sistema de arriostramiento y por dimensiones inadecuadas de los grilletes respectivamente. De acuerdo con la **Tabla 12** que define el grado de severidad respecto a los daños encontrados, se puede clasificar a la estructura con 5, es decir, un estado Pésimo, por lo que es necesario de la intervención inmediata de la identidad a cargo para cerrar el puente y ejecutar reparaciones a los elementos o limitar la carga permisible en la estructura.

En la **Tabla 30** se puede observar que la vegetación se encuentra por encima del cable principal y las péndolas, con lo que se concluye que la estructura no ha recibido un mantenimiento correctivo en mucho tiempo, y demuestra el evidente descuido de las autoridades sobre la estructura.

Se puede encontrar daños muy grandes y severos en la estructura, además, se identificó elementos críticos que presentan pérdida de sección estructural por corrosión como se observa en la **Tabla 27**, por lo que se debe intervenir de manera inmediata con

las actividades que se presentan en la misma tabla con la finalidad de recuperar la sección inicial, con el propósito de asegurar la capacidad de carga de la estructura.

El mantenimiento de la **Tabla 32** debe ser cuidadoso, ya que, al ejercer una fuerza muy grande puede causar el rompimiento del elemento y por consiguiente el reemplazo innecesario del elemento.

Por otro lado, también se encuentra necesario realizar las actividades de reparación para las grietas y dimensiones inadecuadas como se muestra en la **Tabla 35** y **Tabla 31** para permitir una transmisión correcta de las cargas en toda la estructura, ya que estos daños generan inseguridad estructural a los usuarios que transitan por el puente.

Recomendaciones

Con la finalidad de preservar la estructura, mejorar la calidad de servicio y mantenerla en los rangos aceptables de seguridad, se recomienda realizar inspecciones cada año según la descripción del puente (revisar **Tabla 1**), en caso de encontrar un daño estructural se debe realizar la evaluación de inmediato, de lo contrario, realizar la evaluación de los elementos cada 5 años.

Se recomienda a la identidad a cargo mantener la información archivada tanto de diseños como planos estructurales para cuando se realiza una evaluación poder comparar el comportamiento actual del puente con los datos de diseño y determinar si su comportamiento cambia normal o drásticamente al largo de su vida útil.

El procedimiento de reparación a llevarse a cabo puede modificarse dependiendo del profesional que realice el mantenimiento, tomando en cuenta lo detallado en el manual.

Se recomienda verificar que los materiales cumplan con los requerimientos de la construcción, y revisar que los diseños presentados sean aptos para soportar las cargas de uso, para evitar colapso por exceso de carga.

Bibliografía

- Aceros Crea. (2021). *Norma ASTM | Reglamentación ASTM en el Acero* | <https://vigaipr.com/blog/norma-astm/>
- African Pegamatite. (2020). *Aplicaciones de Fundición, Refractarios y Fundición de Antracita*. <https://mineralmilling.com/es/aplicaciones-de-fundicion-refractarios-y-fundicion-de-antracita/>
- Alejandra, N., & Barreto, G. (2020). *Primordiales problemas de la durabilidad del concreto: una revisión general*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30408/2020neidygarciapdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Altamirano, M. A., & Dávalos, C. de la T. (2013). *Evaluación del puente “El Quilo” ubicado en el km 17+200 de la vía Puyo-Baños por el método AASHTO-LRFD y su incidencia en la seguridad estructural y vial*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *The manual for bridge evaluation 2019 Interim Revisions*. <http://downloads.transportation.org/MBE-3-Errata.pdf>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). *The manual for bridge evaluation 3rd edition 2020*. <https://pdfcoffee.com/manual-for-bridge-evaluation-3rd-edition-2020-interim-revisions-pdf-free.html>
- American Concrete Institute. (2019, junio). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. https://www.usb.ac.ir/FileStaff/5526_2020-1-25-11-12-7.pdf
- American Institute of Steel Construction. (1992). *Código de Práctica Normalizada para Edificios y Puentes de Acero*.
- American Iron and Steel Institute. (2016). *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*. https://cfsei.memberclicks.net/assets/docs/publications/aisi-standards/aisi%20s100-16%20%20s100-16-c_e_s.pdf
- American Welding Society. (2016, agosto). *Código de soldadura estructural - acero*. https://pubs.aws.org/download_pdfs/d1.1-2015-spa-pv.pdf
- American Welding Society. (2020). *Structural Welding Code-Steel*. https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D1_1_D1_1M_2020_index_PV.pdf
- Andrade, A., Mosquera, W. A., & Vanegas, L. v. (2015). *Modelos de crecimiento de grietas por fatiga*. <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v9n18/v9n18a06.pdf>

- Arana, J. L., & González, J. J. (s. f.). *Mecánica de Fractura*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de <https://web-aragitalpena.adm.ehu.es/pdf/UCWEB024559.pdf>
- Asesoría y Equipos de Inspección SA de CV. (2019). *Corrientes de Eddy: aplicaciones principales en la industria | AEISA*. <https://www.aeisa.com.mx/corrientes-de-eddy-aplicaciones-principales-en-la-industria/>
- Asociación Latinoamericana del Acero. (s. f.). *Corrosión*. Arquitectura En Acero. Recuperado 18 de julio de 2022, a partir de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/corrosion>
- Asociación Latinoamericana del Acero. (2018, enero 2). *Construcción en Acero*. <https://www.construccionenacero.com/blog/ndeg-41-proyecto-por-fatiga>
- Asta, E. P., Cambiasso, F. A., Ríos, J. C., Balderrama, J. J., & Chomik, E. (2018). *Determinación de la tenacidad a la fractura J en laminados fibra-metal del tipo CARALL con láminas de aluminio 6061 y 1050*. <https://www.scielo.br/j/rmat/a/99vxKVFZHcFJDYQHpj8DMJN/?format=pdf&lang=es>
- Avent, R. R. (2008). *Guide for heat-straightening of damaged steel bridge members final draft of the AASHTO guidelines 5. Report Date*. <http://www.ntis.gov>
- BBC News Mundo. (2018, octubre 14). *Colapso en Génova: lo que se sabe de las posibles causas del trágico desplome del puente en el que fallecieron decenas de personas*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-45178564>
- Beaver, S. (2017, junio 30). *Cómo mantener los cables de acero y los ganchos*. SC Beaver. <https://csbeaver.com/blog/mantener-ganchos-cables-acero/>
- Belmonte, H. (1990). *Puentes 4ta Edición*.
- Bianco, A. (2006). *Puente dañado por el Fenómeno El Niño en la Costa Peruana.png* - Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Puente_da%C3%B1ado_por_el_Fen%C3%B3meno_El_Ni%C3%B1o_en_la_Costa_Peruana.png
- Böhler Welding Group. (s. f.). *Guía de identificación de metales*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de https://noxservices.files.wordpress.com/2014/05/guia_iden_metales.pdf
- Brian Cortes Henao, & Katherin Perilla Morales. (2017). *Identificación de patologías estructurales en edificaciones indispensables del municipio de Santa Rosa de Cabal (sector educativo)*.

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16981/IDENTIFICACION%20DE%20PATOLOGIAS%20ESTRUCTURALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Buckle, I., Friedland, I., & Power, M. (2006, enero). *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures*.
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/bridge/06032/06032.pdf>
- Calcagno, M. (2019, septiembre 14). *Cepillos de acero Hamilton. Cuales son, sus diferentes usos y medidas de seguridad*.
<https://www.youtube.com/watch?v=RkeVMNB2yw4>
- Camposado, E. (2014, noviembre 19). *Defectos en soldadura*.
<https://es.slideshare.net/elvisjhoanherreramelchor/defectos-en-soldadura>
- Carrera, E. (2021). *Gestión del mantenimiento de puentes sobre ríos en la Panamericana Norte, mediante inspecciones y evaluaciones según AASHTO y MTC*.
- Carrera P. Hernan X., Miguel Angos., Marco Cervantes., & Hector A. Oña C. (2008, octubre). *Puentes colgantes*.
<https://es.slideshare.net/kathyespinoza24/puentes-colgantes>
- Carrión, F. J., María, V., Lomelí, G., Antonio, J., Rodríguez, Q., & Madrid, M. M. (2003a). *La evaluación no destructiva de materiales estructurales y puentes*.
<https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt231.pdf>
- Carrión, F. J., María, V., Lomelí, G., Antonio, J., Rodríguez, Q., & Madrid, M. M. (2003b). *La evaluación no destructiva de materiales estructurales y puentes*.
<https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt231.pdf>
- Castillo González, S. A., & Inostroza Hernández, M. J. (2013). *Ensayos no destructivos mediante ultrasonido en Equipos Térmicos*.
http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/798/1/Castillo_Gonzalez_Sergio.pdf
- Catalá, E. (2014, diciembre 29). *Importancia del vibrado del hormigón*.
<https://enriquealario.com/la-importancia-de-un-buen-vibrado-del-hormigon/>
- Construmática. (2008, febrero 20). *Patologías en Puentes*.
https://www.construmatica.com/construpedia/Patolog%C3%ADas_en_Puentes#Recuperaci.C3.B3n_de_Apoyos_Afectados_por_Fallos
- Dasel. (s. f.). *Detección de inclusiones en metales de fundición*. Recuperado 5 de septiembre de 2022, a partir de
<https://www.daselsistemas.com/es/aplicaciones-industriales/77-aplicaciones->

industriales/inclusiones-en-aleaciones-cobre-aluminio/445-detection-of-inclusions-in-casting-materials-2

- Dexter, R., & Ocel, J. M. (2013). *Manual for Repair and Retrofit of Fatigue Cracks in Steel Bridges*.
<https://www.fhwa.dot.gov/bridge/steel/pubs/hif13020/hif13020.pdf>
- Domínguez, J. (2018, enero 22). *La fatiga de los materiales y su tolerancia al daño*.
<https://www.elmundo.es/economia/2018/01/16/5a5de0e4e5fdeaad3c8b45e5.html>
- Dreamstime. (2022). *Abrasión Blanca Del Muro De Cemento*.
<https://es.dreamstime.com/abrasi%C3%B3n-blanca-del-muro-de-cemento-image133063690>
- EcuRed. (s. f.). *Identificación de metales*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de
https://www.ecured.cu/Identificaci%C3%B3n_de_metales#Prueba_de_virutas
- el Comercio. (2021, octubre 14). *Un puente colapsó mientras transitaban vehículos en la vía a Jipijapa, Manabí*.
https://www.elcomercio.com/actualidad/puente-destruido-via-jipijapa-manabi.html?utm_source=facebook&utm_medium=social&utm_campaign=p-hotopost
- el Universo. (2013, febrero 1). *Colapsó puente que estaba al 80%*.
<https://www.eluniverso.com/2013/02/01/1/1447/colapso-puente-estaba-80.html>
- el Universo. (2022, marzo 21). *Turistas cayeron a río al colapsar puente en Puyo; hay ocho heridos*. <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/turistas-cayeron-a-rio-al-colapsar-puente-en-puyo-hay-ocho-heridos-nota/>
- Escudero, J., & Montti, A. (2003). *Manual de diseño de puentes* (Ing. Julio Escudero Meza & Ing. Ana Montti Sánchez, Eds.).
http://www.carreteros.org/hispana/peru/09_peru.pdf
- Espejo, B. (2014). *Tipos de Corrosión en Materiales*.
<https://slideplayer.es/slide/144737/>
- Esteban, D., Unda, G., Humberto, J., & Araujo, Z. (2006). *Mantenimiento de puentes colgantes con estructura de acero*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/64/1/CD-0035.pdf>

- Estrada Molina, A. (2013, abril). *Esquemas de mantenimiento y rehabilitación de puentes carreteros y urbanos de concreto*. <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0691804/0691804.pdf>
- Fernando, E., & Cruz, Y. (2007). *Mantenimiento para puentes metálicos tipo Trabe, Bailey y de Armadura*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/126/1/CD-0529.pdf>
- García, C. (2016, junio 20). *corrosión por esfuerzos*. <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/06/corrosion-por-esfuerzos.html>
- Gómez, J. (2015). *Puentes*.
- Grupo Decasa. (2019, septiembre 19). *DIFERENCIAS ENTRE OXIDACIÓN Y CORROSIÓN | Decasa Pinturas*. <https://decasapinturas.com/diferencias-entre-oxidacion-y-corrosion/>
- Guarnizo, f. p. (s. f.). *Identificación de los metales*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de http://www.scalofrios.es/Fab_Mec/materiales/pdf/IDENTIFICACI%20N%20DE%20LOS%20METALES.pdf
- Henderson, J. (2020, junio 22). *Porosidad en soldadura robótica*. <https://blog.binzel-abicor.com/es/porosidad-en-soldadura-rob%C3%B3tica>
- Idc. (2022). *Tipos de Pilotes de cimentación*. Ingeniería de Caminos. <https://ingeniero-de-caminos.com/pilotes-de-cimentacion/>
- Ingenieriaymas. (2017, junio 12). *Colapso Parcial de un Puente Colgante de Madera en Manabí (Ecuador)*. <http://ingenieriaymas.com/2017/06/colapso-parcial-puente-colgante-madera-manabi-ecuador.html>
- Iñigo, U.-A. (2014, diciembre 12). *Fatiga de elementos estructurales por acciones dinámicas aleatorias en medio ambiente agresivo*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/5967>
- Inmage Lab. (2022). *Tubería De Aguas Residuales O El Medio Ambiente Contaminando El Drenaje, Tubería De Concreto*. https://es.123rf.com/photo_23179868_tuber%C3%ADa-de-aguas-residuales-o-el-medio-ambiente-contaminando-el-drenaje-tuber%C3%ADa-de-concreto.html
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Señalización vial*.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2017). *Fundamentos para la prevención de riesgos laborales*.

<https://www.insst.es/documents/94886/96076/NIPO+fund/789c688f-e753-49b4-bb19-67e53bd7ec28>

- International Metalock Association. (s. f.). *The Benefits of the Metalock Process*. Recuperado 18 de julio de 2022, a partir de https://www.metalockinternational.org/wp-content/uploads/2020/07/the_metalock_process_-_marine.pdf
- Jauregui, H. (2012). *Directrices para la inspección y evaluación de puentes de la red vial Estatal*.
- Juan Diego Correa Chaparro, & Giuseppe Luigi Ratti Guzmán. (2015). *Evaluación del efecto de la variación de la dosificación de agregado ligero de arcilla expandida en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto estructural aligerado*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21390/CorreaChaparroJuanDiego2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Juliana Gómez Echavarría, & Eloy Eduardo Palacios Ramírez. (2011). *Principales causas y posibles soluciones de las reclamaciones a nivel patológico en sistemas de edificaciones aporricadas*. <https://core.ac.uk/download/pdf/51195446.pdf>
- Junkers, A. (2021, octubre 21). *Como reparar Grieta Grande o Profunda Pared SikaTop 50*. Tecnico Junkers. <https://www.youtube.com/watch?v=qkZtBAYS0E>
- Lifting Solutions Group. (s. f.). *Inspección y mantenimiento de cables de acero*. Recuperado 18 de julio de 2022, a partir de <https://www.cyesa.com/servicios-tecnicos-cable-de-acero/inspeccion-y-mantenimiento-cables-acero>
- Loustaunau, S., & Poppolo, T. (2013). *Patologías en estructuras de hormigón armado*. http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/A1_033.pdf
- Luque, M. (2019). *Hipótesis sobre las causas concurrentes que ocasionaron la caída del puente Morandi en Italia*. <https://ingenierostop.com/articulos/4-Hip%C3%B3tesis-sobre-las-causas-concurrentes-que-ocasionaron-la-ca%C3%ADda-del-puente-Morandi>
- Maldonado, J. (1996, diciembre). *Aceros y sus aplicaciones*. <http://eprints.uanl.mx/421/1/1020118272.PDF>
- Masters, L. (2013). *Patología del Concreto «Causas de daños en el concreto»*. <https://es.slideshare.net/SergioPap/patologia-del-concreto-causas-de-daos-en-el-concreto>

- Merus. (s. f.). *Formación de Picaduras - Corrosión en las Tuberías Metálicas*. Recuperado 5 de septiembre de 2022, a partir de <https://www.merus.es/formacion-de-picaduras-corrosion/>
- Miguel, J. M., & Pere, B. (2011, julio 29). *Reparación mediante soldadura de herramientas para trabajo en caliente - Deformación metálica y chapa*. <https://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/54891-Reparacion-mediante-soldadura-de-herramientas-para-trabajo-en-caliente.html>
- Millán, B., Montenegro, M., Asesor, S., Carmen, M. I., & Muñoz, C. (2020). *Inspección de la superestructura y propuesta de un plan de mantenimiento preventivo del puente vehicular Sánchez Cerro, ubicado entre los distritos Piura y Castilla, Provincia de Piura, Perú-2019*.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, & Secretaría de Gestión de Riesgos. (2015, septiembre). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. https://www.academia.edu/33069399/Norma_Ecuatoriana_de_la_Construccion_NEC_2015
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú. (2006). *Guía para inspección de puentes*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/GUIA%20PARA%20INSPECCION%20DE%20PUENTES.pdf
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2020). *Esta madrugada MTOP removi6 puente colapsado en la vía Cuenca – Azogues y habilit6 la circulaci6n vehicular*. Ministerio de Transporte y Obras P6blicas. <https://www.obraspublicas.gob.ec/esta-madrugada-mtop-removio-puente-colapsado-en-la-via-cuenca-azogues-y-habilito-la-circulacion-vehicular/>
- Mitchell-baker, D., & Cullimore, M. S. (1988). Operation and maintenance of the Clifton Suspension Bridge. En *Proc. Instn Ciu. Engrs, Part (Vol. 1)*.
- Moffit, A. (s. f.). *Hierro y acero*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+73.+Hierro+y+acero>
- Monsalvo, J. C. (2007). *Ensayos No Destructivos Radiografía Industrial*. https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/8144/mod_resource/content/0/UTN_Tema_5_-_Radiografia_Industrial.pdf
- Monsalvo, J. M. (2007). *Ensayos No Destructivos Partículas Magnetizables*. https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/8141/mod_resource/content/1/UTN_Tema_3_-_Particulas_Magnetizables.pdf

- Muñoz, E. (2002). *Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia*.
- Muñoz, E., & Gómez, D. (2011, octubre 20). *Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia*. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v28n1/art03.pdf>
- Noria Latín América. (2015, octubre 1). *Fundamentos de lubricación de cables de acero*. Noria. <https://noria.mx/lublearn/fundamentos-de-lubricacion-de-cables-de-acero/>
- Norma Ecuatoriana Construcción De La Construcción. (2014). *Estructuras de acero*.
- Norma Ecuatoriana Vial, & Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Volumen N° 2-Libro a norma para estudios y diseños viales*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Organización Internacional del Trabajo. (s. f.). *Equipos de protección personal (Administración e inspección del trabajo)*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de <https://www.ilo.org/global/topics/labour-administration-inspection/resources-library/publications/guide-for-labour-inspectors/personal-protective-equipment/lang--es/index.htm>
- Orlando, M., & Jiménez, M. (2021). *Guía para la Rehabilitación de Puentes con Estructura de Acero*.
- paredes, D. (2021, diciembre 7). *Corrosión y limpieza del acero inoxidable*. NHC Latín América. <https://www.la.nch.com/corrosioacuten-y-limpieza-del-acero-inoxidable>
- Paredes, J., Prieto, J., Santos, I. E., & Galindo, G. (2013). *Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24384/1/Paper%20Paredes-Prieto.pdf>
- Parrondo, javier. (2016, noviembre 4). *El hundimiento del puente de la carretera M-527 sobre el río Guadarrama (II.- El colapso)*. | *A view from the bridge*. <https://fckestructural.wordpress.com/2016/11/14/el-hundimiento-del-puente-de-la-carretera-m-527-sobre-el-rio-guadarrama-ii-el-colapso/>
- Pecho, Y. (2017). *Importancia del mantenimiento preventivo de puentes en el Perú*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3992/Importancia_mantenimiento_preventivo_puentes_Peru.pdf?sequence=2&isAllowed=y

- Pure Planet Science & Technology. (s. f.). *Lagrimones, eflorescencia y otros problemas del concreto*. Recuperado 5 de septiembre de 2022, a partir de <https://blog.orendatech.com/es/lagrimones-eflorescencia-yOtros>
- Qatm. (2022). *Metalografía: equipos de prueba con calidad QATM comprobada*. <https://www.qatm.com/products?gclid=CjwKCAjww8mWBhABEiwAl6-2RXCmD->
- Ricardo García Ledesma. (2013). *Diseño y comportamiento de uniones estructurales mecánicas y adhesivas. Condiciones superficiales y operacionales*. https://oa.upm.es/22235/1/RICARDO_GARCIA_LEDESMA.pdf
- Rtarquitectura. (2022). *Tipos de fisuras y grietas en el hormigón* . <https://www.rtarquitectura.com/tipos-de-fisuras-y-grietas-en-el-hormigon/>
- Sandra Verónica Durán Yazuma, & Cristina Quishpe Coro. (2009). *Reparación de puentes de hormigón colapsados, mediante la instalación de sistemas estructurales de acero*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1462/1/CD-2188.pdf>
- Santos, E., Yenque, J., Rojas, O., & Rosales, V. (2001). *Notas científicas acerca del ensayo de dureza*. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol4_2/a13.pdf
- Sci. (2021a). *Ensayos Por Corrientes Inducidas - Ensayos no Destructivos*. <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/corrientes-inducidas/>
- Sci. (2021b). *Ensayos por Líquidos Penetrantes*. <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/inspeccion-por-liquidos-penetrantes/>
- Sciortino, J. A., Barcali, A., & Carlesi, M. (s. f.). *Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros*. Recuperado 18 de julio de 2022, a partir de <https://www.fao.org/3/v5270s/v5270s08.htm#TopOfPage>
- Secom. (2021). *Iluminación puentes: aspectos clave que se deben tener en cuenta*. <https://blog.secom.es/iluminacion-de-puentes/>
- Solyman. (2020). *Reparación de soldaduras con electrodos: recomendaciones*. <https://www.solyman.com/repuracion-soldaduras/>
- Tadeo, M. S. (2016). *Ensayo de Tracción*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/presentaciones/Traccion-1.pdf>

- tecyrsa. (s. f.). *REHABILITACIÓN DE PUENTES Y ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN*. Recuperado 5 de septiembre de 2022, a partir de <https://tecyrsa.com/portfolio/rehabilitacion-de-puentes-y-estructuras-de-hormigon/>
- U. S. Army Department, & U. S. Air Force Department. (2010). *Bridge Inspection, Maintenance, and Repair: The Official U.S. Army Technical Manual TM 5-600, U.S. Air Force Joint Pamphlet AFJAPAM 32-108*.
- United States Environmental Protection Agency. (2016). *Guía para el Control de la Humedad en el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Edificaciones*. https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2016-07/documents/moisture_control_guidance_spanish_april_2016_508_final.pdf?fbclid=IwAR3Y1ovvGTOV6ICf9uMilkmLI0TRmfs3gU2DcIYZigReU81HHmHzrxXIAcQ
- Universidad de Málaga. (s. f.). *Defectos en las piezas fundidas*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/procesos_Fundicion_9.pdf
- Universidad de Santiago de Chile. (s. f.). *Soldadura Smaw 1 elementos de sujeción*. Recuperado 5 de septiembre de 2022, a partir de <https://slidetodoc.com/soldadura-smaw-1-elementos-de-sujecin-los-elementos/>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (s. f.). *Ensayo de impacto*. Recuperado 17 de julio de 2022, a partir de http://www.punta.unam.mx/fi_papime_pe102421/pdfs/impacto.pdf
- U.S Department of Transportation-Federal Highway Administration. (2012). *Serie de estadísticas de carreteras*. <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2012/>
- Valdez, C. (2018). *Unidad ii dureza - ensayos no destructivos*. <https://fdocuments.ec/document/unidad-ii-dureza-ensayos-no-destructivos.html?page=4>
- Vázquez, M. (2018). *La corrosión El peor de los villanos cuando dominan los metales*.
- VersatMetals. (2012). *Accesorios Puentes*. http://versatmetals.com/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=33
- Vilchez, R. (2022, abril 30). *Soluciono tus fisuras estructurales y constructivas. Construye Con Ingennio*. <https://www.youtube.com/watch?v=Gax4moIziHA>

Weiben. (2017, junio 8). *Los defectos de fundición en arena*. <http://www.wb-machinery.com/es/sand-casting-defects.html>

Winiker, T. F. (2019). *Manual de mantenimiento puentes Costa Rica*.

Zhao, J. J., & Tonias, D. E. (2017). *Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges, Fourth Edition*.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías




Fotografías de la estructura	
<p>FOTO N.º 1</p> 	<p>FOTO N.º 2</p> 
<p>FOTO N.º 3</p> 	<p>FOTO N.º 4</p> 
<p>FOTO N.º 5</p>	<p>FOTO N.º 6</p>



FOTO № 5



FOTO № 6



FOTO № 6



FOTO № 7



Anexo 2. Normativas Vigentes Para El Diseño De Puentes

AASHTO LRFD Bridge Design Specification 3^{ra} Edition 2020

Estas especificaciones detallan los requerimientos para el diseño, evaluación y rehabilitación de puentes carreteros, pero no para los puentes ferroviarios además no especifica aspectos sobre la seguridad de vehículos y peatones. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020).

Por otra parte, las especificaciones están conformada de 15 secciones donde trata de: Características generales y de ubicación, cargas y factores de carga, análisis y evaluación estructural, estructuras de concreto, acero y madera, tableros y sistemas de tablero, fundaciones, estribos, pilas y muros y elementos no estructurales barandas, etc (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020).

Normativa Ecuatoriana Vial: NEVI-12

Es la normativa que trata sobre el “desarrollo de la infraestructura vial y del transporte en el Ecuador bajo los principios de equidad, equivalencia, participación, excelencia, información, sostenibilidad ambiental y competitividad sistémica” (Norma Ecuatoriana Vial & Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Ministerio de Transporte y Obras Públicas: MTOP

El MTOP es la institución que correlaciona las normativas de otros países como base para el diseño de carreteras, puentes en el país, ampliando su alcance. Regulaciones para así garantizar seguridad a los usuarios de los ecuatorianos (Norma Ecuatoriana Vial & Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-15

En esta normativa describe de forma clara las medidas promulgadas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), conjuntamente con organismos

técnicos privados y profesionales. Se basan en el objetivo de puntualizar las exigencias mínimas con respecto a la seguridad y calidad que se deberían ejecutar en las construcciones del Ecuador (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Secretaría de Gestión de Riesgos, 2015).

Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-19)

El Código establece las definiciones sobre la elaboración de estructuras e indica los requerimientos sobre los diseños en elementos de concreto armado. Garantiza no solo un diseño ideal, sino también la eficiencia de la estructura (American Concrete Institute, 2019)

Anexo 3. Normas vigentes para la rehabilitación de puentes

Correlativamente se indica de manera breve los códigos que se considera para la reparación de elementos de puentes metálicos en el país:

Código de Soldadura de Puentes AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2020 (Bridge Welding Code)

El código hace referencia a las exigencias de la AASHTO que debe cumplir el diseño de puentes, que sean soldados con aceros carbono y de baja aleación, también indica la inspección, detalles estructurales, soldadura de pernos y otros (American Welding Society, 2020).

Por otra parte, el código de soldadura no es posible emplearse para metales de acero que contengan sus esfuerzos mínimos de fluencia mayor que 60 MPA, además, no se debe aplicar a las soldaduras donde su metal base tenga un espesor menor a 3 mm (American Welding Society, 2020).

El código consta de 11 secciones; en la primera sección indica los requisitos generales, luego habla de las referencias normativas, por tercera sección se tiene los términos y definiciones, posterior a ello el diseño de conexiones soldadas, en la quinta

sección se tiene la precalificación de las WPSs, por consiguiente se tiene en las secciones la calificación, fabricación, inspección, la soldadura de pernos, en la décima sección hace referencia a las estructuras tubulares y por ultima sección se tiene el reforzamiento y reparación de estructuras existentes (American Welding Society, 2020).

AISI S100-16 (2020) w/S2-20, North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 2016 Edition (Reaffirmed 2020) With Supplement 2, 2020 Edition

La especificación establece los procedimientos del acero conformado en frío en países como Estados Unidos, Canadá y México, además indica los procesos para el diseño de resistencia admisible (ASD) y proporciona materiales educativos. (American Iron and Steel Institute, 2016).

Código de Práctica Normalizada para Edificios y Puentes de Acero (AISC)

El AISC es aquel que establece todas las indicaciones aceptables al contratar una construcción de acero estructural, es dirigida para personas asociadas en la construcción como es el caso; ingenieros, contratistas y otras.(American Institute of Steel Construction, 1992).

Anexo 4. Manuales para la Evaluación e Intervención de Puentes

The Manual for Bridge Evaluation, 3rd Edition, 2018 (MBE-3)

El manual indica de manera detallada las fases que deben tener las inspecciones y evaluaciones de un puente, el manual está compuesto por 8 secciones y un apéndice A que contiene nueve ejemplos ilustrativos, además, es el resultado de la combinación de dos documentos basados en la evaluación de la condición de puentes de carreteras (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018).

Manual for Repair and Retrofit of Fatigue Cracks in Steel Bridges, 2013

Este manual define los procesos de reparación para grietas resultado de la fatiga en puentes de acero, también establece los criterios de diseño y modificaciones cuando la patología sobrepase el valor admisible. Además, es importante que se consulte en las especificaciones, los códigos y el criterio de ingeniería existentes en la región. (Dexter & Ocel, 2013).

Guide For Heat-Straightening Of Damaged Steel Bridge Members, 2008

El manual establece los procedimientos para la reparación por enderezamiento de miembros estructurales de acero. Además, está compuesto por tres partes; la primera parte describe proceso de enderezado por calor (Avent, 2008).

La segunda parte se establece una guía técnica donde especifica la forma de enderezamiento térmico, mientras que la última parte cuenta con guías, especificaciones y material de referencia. Finalmente, una bibliografía, glosario y nomenclatura (Avent, 2008).

Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1 – Bridges, 2006

El manual define los procedimientos tanto de inspección como evaluación para puentes estatales que han sufrido alguna alteración producto de sismos (Buckle et al., 2006).

Normas AASHTO y ASTM

En la **Tabla 37** se especifica los tipos de acero AASHTO/ASTM que se utilizan en estructuras de puentes (Aceros Crea, 2021):

Tabla 37

Tipos de acero AASHTO/ASTM

AASHTO M270	ASTM
A 709 GRADE	Specification

36	A36
50	A572
50S	A992
50W	A588
50CR	A709
HPS 50W	A709
HPS 70W	A709
HPS 100W	A709

Nota: Adaptado de Short Span Steel Bridge Alliance Seminar. Steel Bridges from Concept to Delivery por Dr. Michael Barker. Universidad de Wyoming.

ASTM A36. La especificación indica los materiales de los accesorios como remaches, pernos de alta resistencia, tuercas, además indica los requerimientos químicos que deben cumplir los aceros estructurales al carbono (Aceros Crea, 2021).

ASTM A572. Especificación para aceros estructurales de alta resistencia y baja Aleación para perfiles, placas, y barras, es decir indica que los aceros de grado 42,50,60 y 64 es propio para remachado, empernado de puentes, edificios. Además, establece los máximo espesores para el acero (Aceros Crea, 2021).

ASTM A992. Recomendaciones para perfiles tipo W, este es el más utilizado en las construcciones (Aceros Crea, 2021).

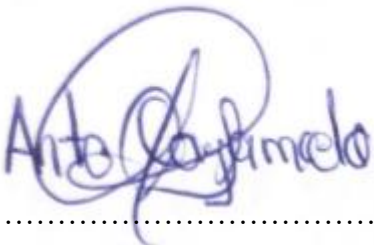
ASTM A588. Describe los procedimientos para aceros de alta resistencia y baja aleación, estos aceros son utilizados en la construcción debido a que poseen características resistentes contra la corrosión, es importante indicar que los espesores máximos son de 200mm (Aceros Crea, 2021).

ASTM 709. Establece los métodos para los aceros estructurales en puentes, abarca los procesos de tratamiento térmico, así como, los requerimientos de esfuerzos a tracción (Aceros Crea, 2021).

**AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Nosotros, **Guillermina Antonieta Cayamcela Chacha** y **Marlon Ariel Ñamagua Cuenca** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0350047296 y 1900753235. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Manual de mantenimiento de puentes colgantes**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **08 de septiembre de 2022**



F:

Guillermina Antonieta Cayamcela Chacha
C.I. 0350047296



F:

Marlon Ariel Ñamagua Cuenca
C.I. 1900753235