



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**ELABORACIÓN DE CATÁLOGO DE REPARACIONES
PARA PUENTES DE ESTRUCTURACIÓN CONVENCIONAL
TIPO VIGA**

POR

Franco Ignacio Sanhueza Sanhueza

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título de Ingeniero Civil

Profesor Guía
Tomás Echaveguren Navarro

Diciembre 2023
Concepción (Chile)

© 2023 Franco Sanhueza Sanhueza

© 2023 Franco Sanhueza Sanhueza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre y abuelos, por su apoyo incondicional y darme la oportunidad de desarrollarme profesional y personalmente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Laboratorio de Transportes GESITRAN Udec por el apoyo durante este proceso, por entregarme el material necesario para desarrollar esta memoria de título.

Agradezco al personal del laboratorio, especialmente a Cristóbal Solar, por la disposición y voluntad para apoyarme durante ese proceso, por la ayuda y apoyo durante este proceso.

Agradezco al profesor Tomás Echaveguren por darme la oportunidad y confianza para trabajar en la idea presentada, por el tiempo dedicado, recomendaciones, consejos y experiencia compartida durante este proceso, los cuales facilitaron el desarrollo de la investigación.

Agradezco al profesor patrocinante Tomás Echaveguren y al profesor de la comisión Luis Merino, por el tiempo dedicado, las recomendaciones, consejos, comentarios y experiencia compartida durante este proceso.

RESUMEN

En Chile, la red de transporte es uno de los elementos más importantes para su funcionamiento y conexión. De acuerdo con las características geográficas y la extensión de su red vial, es que se vuelve necesario la construcción de una gran cantidad de puentes para mantener su continuidad. Es por esto por lo que un deterioro en uno de los puentes puede llegar a significar desconexión.

El desarrollo de esta memoria de título se centra en la elaboración de un catálogo de reparaciones para puentes de estructuración convencional de tipo viga, el cual contiene distintos parámetros que serán de utilidad al momento de planificar acciones de reparación.

Para esto se define inicialmente los elementos del puente, haciendo la distinción entre elementos resistentes y no resistentes. Se selecciona un índice de calificación que sirve para cuantificar el estado de un puente mediante la aplicación de un algoritmo que entrega una calificación entre 0 y 100, donde mientras más bajo sea el valor, peor será la condición del puente.

Este índice de calificación se denomina ICA' y corresponde a un proceso iterativo con el que se obtiene la calificación del puente y que, simulando la reparación de uno de los deterioros presentes, entrega una nueva calificación para el puente con la que se puede determinar la variación en su condición.

Finalmente, se elabora el catálogo de reparaciones que contiene los siguientes parámetros asociados a cada uno de los deterioros: Acción de reparación, tipo de operación, materialidad, elemento afectado y variación de ICA'. Este catálogo es una herramienta que ayudará a tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento de los puentes.

ABSTRACT

At a domestic level, the transportation network of Chile is one of the most important elements for its operation and connection. Due to the geographical characteristics and the extension of the road network, the construction of many bridges becomes necessary to maintain its continuity. This is why a deterioration in one of the bridges can mean a disconnection.

This report focuses on the preparation of a catalog of repair actions for conventional beam-type structure bridges. This catalog will contain different parameters that will be useful when planning repair actions. For this purpose, the elements of the bridge are initially defined, making the distinction between resistant and non-resistant elements. A qualification index is selected to quantify the condition of a bridge by applying an algorithm that provides a rating between 0 and 100, where a lower value represents a worse condition of the bridge.

This qualification index is called ICA' and corresponds to an iterative process where the qualification of the bridge is obtained and which, simulating the repair of one of the present deteriorations, provides a new qualification for the bridge that can be used to determine the variation or improvement in its condition.

Finally, a repair catalog is prepared, which contains the following parameters associated with each of the deteriorations: Repair action, type of operation, materiality, affected element and variation of ICA'. This catalog is a tool that will help make informed decisions about bridge maintenance.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Motivación	1
1.2.	Objetivos	1
1.2.1.	Objetivo general.....	1
1.2.2.	Objetivos específicos	2
1.3.	Plan de trabajo.....	2
1.4.	Principales resultados y conclusiones	3
1.5.	Organización de la memoria de título	3
CAPÍTULO 2	ANTECEDENTES GENERALES SOBRE CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN Y ACCIONES DE REPARACIÓN PARA PUENTES	4
2.1.	Introducción	4
2.2.	Elementos del puente	4
2.3.	Deterioros y acciones de reparación.....	6
2.4.	Índice de calificación	9
2.5.	Conclusiones	15
CAPÍTULO 3	METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE CATÁLOGO DE REPARACIONES	16
3.1.	Introducción	16
3.2.	Recopilación de información sobre deterioros en elementos del puente	16
3.3.	Propuesta de jerarquización de deterioros.....	19
3.4.	Proposición de modelo de variación de índice de condición automático	25
3.5.	Elaboración de catálogo de reparaciones	27
3.6.	Conclusiones	29
CAPÍTULO 4	ELABORACIÓN DE CATÁLOGO DE REPARACIONES.....	30

4.1.	Recopilación de información sobre deterioros en elementos del puente	30
4.2.	Jerarquización de deterioros y posibilidad de ocurrencia	31
4.3.	Modelo de variación de índice de calificación automático	31
4.4.	Elaboración de catálogo de reparaciones	32
4.5.	Conclusiones	34
CAPÍTULO 5	CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS	36
ANEXO 1.1	Catálogo de reparaciones.....	38
ANEXO 2.1	Deterioros con posibilidad de ocurrencia por componente	43
ANEXO 3.1	Ponderadores para método I3MOP2.0.....	48
ANEXO 4.1	Ejemplo de cálculo de ICA' para componente	57
ANEXO 4.2	Ejemplo de cálculo de ICA' para casos extremos	61
ANEXO 4.3	Acciones de reparación.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Componentes y elementos del activo puente.....	4
Tabla 2.1. Componentes y elementos del activo puente (Continuación).....	5
Tabla 2.2. Deterioros considerados	8
Tabla 2.2. Deterioros considerados (Continuación)	9
Tabla 2.3. Rangos de calificación global del puente	10
Tabla 2.4. Variables que inciden en la estimación de la condición del puente.....	11
Tabla 2.4. Variables que inciden en la estimación de la condición del puente (Continuación) ...	11
Tabla 2.5. Rangos de calificación de condición global del puente.....	12
Tabla 2.6. Tablas de pesos de ponderación por “Extensión” y “Gravedad”.....	13
Tabla 2.7. Tabla de pesos de ponderación por “Deterioro”	13
Tabla 2.7. Tabla de pesos de ponderación por “Deterioro” (Continuación).....	14
Tabla 3.1. Listado de puentes obtenido	17
Tabla 3.1. Listado de puentes obtenido (Continuación)	18
Tabla 3.2. Tabla de deterioros y categorías según ponderación	19
Tabla 3.2. Tabla de deterioros y categorías según ponderación (Continuación)	20
Tabla 3.3. Deterioros posibles en Tablero	21
Tabla 3.4. Deterioros posibles en Estribos.....	22
Tabla 3.5. Deterioros posibles en Cepas.....	23
Tabla 3.6. Deterioros posibles en Accesos	24
Tabla 3.7. Casos que considerar para variaciones	26
Tabla 3.7. Casos que considerar para variaciones (Continuación).....	27
Tabla 3.8. Ejemplo de catálogo de reparaciones.....	29
Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones	38

Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones (Continuación).....	39
Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones (Continuación).....	40
Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones (Continuación).....	41
Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones (Continuación).....	42
Tabla A2.1. Deterioros presentes en puentes parte 1.....	43
Tabla A2.2. Deterioros presentes en puentes parte 2.....	44
Tabla A2.3. Deterioros presentes en puentes parte 3.....	45
Tabla A2.4. Deterioros presentes en puentes parte 4.....	46
Tabla A2.5. Deterioros posibles por componente.....	47
Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad.....	48
Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Continuación).....	49
Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Continuación).....	50
Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Continuación).....	51
Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Continuación).....	52
Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Continuación).....	53
Tabla A3.2. Tabla de pesos de ponderación de Causa.....	54
Tabla A3.2. Tabla de pesos de ponderación de Causa (Continuación).....	55
Tabla A3.2. Tabla de pesos de ponderación de Causa (Continuación).....	56
Tabla A3.3. Tabla de pesos de ponderación por Deterioro.....	56
Tabla A3.4. Tabla de pesos de ponderación por Componente.....	56
Tabla A4.1. Casos posibles categorizados.....	61
Tabla A4.2. Primer caso para analizar.....	61
Tabla A4.3. Cambio en la calificación al variar parámetros.....	62
Tabla A.4.4. Cambio en la calificación al variar parámetros.....	62
Tabla A4.5. Tratamiento superficial.....	63

Tabla A4.6. Cambio de pavimento asfáltico.....	63
Tabla A4.7. Encamisado	64
Tabla A4.8. Encamisado	65
Tabla A4.9. Reparación con morteros expansivos.....	65
Tabla A4.10. Reparación superficial de hormigones.....	66
Tabla A4.11. Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto	66
Tabla A4.12. Reparación de extremos de viga de hormigón armado.....	67
Tabla A4.13. Reparación superficial de hormigones.....	67
Tabla A4.14. Aplicación de hormigón Prepackt.....	68
Tabla A4.15. Revestimiento de cemento con polímero modificado.....	68
Tabla A4.16. Recapado y membranas, como látex de concreto modificado	69
Tabla A4.17. Refuerzo con placa de acero	69
Tabla A4.18. Empalme de barra pretensado	70
Tabla A4.19. Colocación de pilotes adiciones.....	70
Tabla A4.20. Refuerzo con cables exteriores	71
Tabla A4.21. Enderezamiento térmico	71
Tabla A4.22. Enderezamiento mecánico	72
Tabla A4.23. Reparación de terraplén de acceso.....	72
Tabla A4.24. Colocación de gaviones	73
Tabla A4.25. Refuerzo con armadura y mortero adicional.....	73
Tabla A4.26. Reparación de hormigón con armaduras corroídas.....	74
Tabla A4.27. Reparación con morteros expansivos.....	74
Tabla A4.28. Encamisado	75
Tabla A4.29. Reparación con morteros expansivos.....	75
Tabla A4.30. Revestimiento con cemento con polímero modificado.....	76

Tabla A4.31. Inyección de fisuras con sello de gravedad.....	76
Tabla A4.32. Reparación con morteros expansivos.....	77
Tabla A4.33. Inyección de lechada hidráulica con cemento Portland	77
Tabla A4.34. Inyección de lechada hidráulica con cemento Portland	78
Tabla A4.35. Cambio de pavimento asfáltico.....	78
Tabla A4.36. Reparación superficial de hormigones.....	79
Tabla A4.37. Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto	79
Tabla A4.38. Reparación con inyección de epoxi	80
Tabla A4.39. Reparación de superficie con hormigón proyectado.....	80
Tabla A4.40. Reparación de miembros superestructura de hormigón mediante aplicación de polímero de fibra reforzada.....	81
Tabla A4.41. Reparación de extremos de viga de hormigón armado	81
Tabla A4.42. Reparación con morteros expansivos.....	82
Tabla A4.43. Revestimiento con mortero proyectado	82
Tabla A4.44. Reparación con soldadura	83
Tabla A4.45. Revestimiento con cemento con polímero modificado.....	83
Tabla A4.46. Reparación de estabilización de asentamiento de zapatas	84
Tabla A4.47. Perforar pilotes e inyectar lechada.....	85
Tabla A4.48. Revestimiento de cemento con polímero modificado.....	85
Tabla A4.49. Reemplazo de pernos o remaches defectuosos	86
Tabla A4.50. Refuerzo con fibra de resina plástica	86
Tabla A4.51. Reemplazo de pernos o remaches defectuosos	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Componentes principales del puente	5
Figura 2.2. Niveles de estructuración de un puente	10
Figura 2.3. Representación esquemática del método de calificación propuesto.....	12
Figura 4.1. Cantidad de puentes para cada uno de los rangos según base de datos.....	30
Figura A4.3. Calificación entregada por el programa.....	58
Figura A4.4. Eliminación del peor deterioro	58
Figura A4.5. Calificación entregada por el programa, luego de eliminar un deterioro	59
Figura A4.6. Eliminación de los dos peores deterioros	59
Figura A4.7. Calificación entregada por el programa, luego de eliminar dos deterioros	60

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

La red de transporte de un país es uno de los elementos más importantes para su funcionamiento. En Chile, dadas las características geográficas y lo extensa de su red vial, se hace necesario la implementación de una gran cantidad de puentes para que esta tenga continuidad en toda su amplitud. El deterioro de uno de estos significa desconexión en la red.

Como país se cuenta con aproximadamente 12.000 estructuras ubicadas en rutas urbanas e interurbanas. De ellas, 4.750 son pasos a desnivel y pasarelas, y los restantes 7.250 a puentes. Del total de puentes, 6.800 están bajo la tuición de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y 450 a puentes concesionados (MOP, 2020).

Por su importancia para la red es necesario mantener los puentes en una buena condición, ya que con el tiempo estos se degradan y pierden la capacidad original. Esto puede ser ocasionado por diversos factores, tales como el uso y cargas a las que se somete, especialmente de tránsito, falta de mantención o causas naturales, como sismos o crecidas de ríos.

A raíz de lo expuesto, resulta de suma importancia implementar un sistema de gestión de puentes de naturaleza preventiva. Esto permite tomar decisiones más fundamentadas al considerar una amplia gama de datos y variables, lo que mejoraría el rendimiento y vida útil del puente.

Con esta investigación se busca aportar con el análisis de los deterioros y como repararlos, considerando su variación en la calificación que se le otorga al puente de acuerdo con su condición. Para esto se utilizará un método propuesto por I3MOP que entrega un índice por puente y tiene como datos iniciales los obtenidos por medio de la inspección visual del puente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Elaborar un catálogo de reparaciones para elementos de un puente, con respecto a los deterioros que lo afectan.

1.2.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre reparaciones en elementos del puente.
- Proponer un modelo de variación de índice de calificación automático (ICA') para reparaciones en elementos del puente.
- Seleccionar datos de reparaciones e ICA' para elaborar catálogo de reparaciones.

1.3. Plan de trabajo

Se definió distintas etapas o tareas a cumplir para cada uno de los objetivos específicos definidos, las que harán que el objetivo general sea logrado:

Etapas 1: Recopilación de acciones de reparación en puentes. En primer lugar, se definió los elementos de interés del puente sobre los cuales se realizó el análisis, considerando los que son más influyentes para su calificación/condición y omitiendo los que no son relevantes. Se recopiló antecedentes disponibles sobre reparaciones de puentes, en que elementos se pueden aplicar y como se aplican. También se creó una base de datos con archivos de Inspecciones Principales en distintos puentes de la Red Vial de Chile.

Etapas 2: Proposición de modelo de variación de Índice de Calificación Automático. Se definió a que corresponde el ICA' (Índice de Calificación Automático) y los deterioros más recurrentes para los distintos elementos del puente, los cuales se dividieron en distintas categorías de acuerdo con sus ponderadores. Al calcular el ICA', cada deterioro se asocia a una componente de gravedad y extensión, que tienen cuatro rangos cada una y afectan a la calificación. Considerando esto, se descartó los casos que no son posibles en la práctica.

Etapas 3: Selección de datos para elaborar catálogo. Se calculó el ICA' considerando los dos deterioros que más influyentes son para la calificación del puente y se varió considerando los siguientes casos: 1) Reparando solo el deterioro más importante y 2) Reparando ambos deterioros; De lo que se obtuvo la variación en el ICA' para las distintas configuraciones de deterioros aplicadas. Finalmente se probó el método en la base de datos creada anteriormente, esta vez considerando todos los deterioros existentes, para conocer la variación en el ICA' para puentes reales.

1.4. Principales resultados y conclusiones

Se creó un catálogo de reparaciones para puentes que prioriza la intervención según su impacto en la estructura, identificando componentes resistentes y no resistentes para simplificar la evaluación. La adopción del Índice de Calificación Automático ICA' facilita la toma de decisiones al cuantificar el daño mediante inspección visual.

Mantener los puentes en óptimas condiciones es esencial para la continuidad de la extensa red vial chilena, subrayando la necesidad de una gestión preventiva fundamentada. El método propuesto, junto con la categorización de las acciones de reparación, ofrece una base sólida para decisiones que contribuyen a la seguridad y eficiencia de la red vial.

1.5. Organización de la memoria de título

Esta investigación consta de cinco capítulos. El segundo capítulo recopila los antecedentes previos sobre acciones de reparación para puentes y calificación de su condición, de donde se obtiene los lineamientos teóricos para la elaboración del catálogo. En el tercer capítulo se presenta la metodología a seguir para elaborar el catálogo, define los pasos a seguir y las variables que considerará. En el cuarto capítulo se muestra la elaboración de este catálogo de acuerdo con el método desarrollado. Finalmente, en el capítulo quinto se presentan las conclusiones del trabajo.

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES GENERALES SOBRE CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN Y ACCIONES DE REPARACIÓN PARA PUENTES

2.1. Introducción

En el presente capítulo, se estudia la variación en la calificación de la condición de un puente, que es útil al momento de decidir en qué momento actuar para conservar su condición por un tiempo mayor. Para esto es necesario conocer los distintos elementos de un puente y su importancia para la condición estructural de este, las reparaciones que pueden aplicársele y, también, métodos para calcular el costo de estas.

2.2. Elementos del puente

Los puentes son las estructuras viales destinadas a permitir la continuidad de un camino de uso público sobre obstáculos naturales, tales como ríos, mar, esteros, lagos, etc. En este tipo de activos, se deben distinguir claramente una superestructura y una infraestructura (MOP, 2021).

Son los elementos que mayor inversión demanda por unidad de longitud, los deterioros que presentan requieren de reparaciones que muchas veces resultan técnicamente más complejas e interrumpen el tránsito del usuario en periodos extensos.

En la Tabla 2.1 se muestra la composición del activo puente, donde se listan los cuatro componentes y los respectivos elementos que forman parte de cada uno de estos.

Tabla 2.1. Componentes y elementos del activo puente (MOP, 2021)

Componente	Elemento
Infraestructura	Estribo
	Cepa
	Pilote
	Dado de fundación
Superestructura	Piso
	Tablero
	Viga
	Losa
	Pasillo
	Baranda

2.3. Deterioros y acciones de reparación

El término utilizado para describir los problemas que pueden afectar a un puente es “deterioro”. Existe una gran variedad de estos y pueden afectar a los diversos elementos de la estructura puente. La gravedad y extensión asociado al deterioro son factores determinantes, a medida que estos aumentan, la condición de la estructura disminuye, llegando incluso a requerirse la demolición y reconstrucción total del puente.

A continuación, de lo obtenido de la literatura (Winkler, 2011; Rivera *et al.*, 2006; Smith, 1976): se listan algunas acciones que pueden producir un deterioro en el puente.

Acciones naturales:

- Procesos químicos de deterioro (corrosión, carbonatación, salinización, reacción álcali-sílice, entre otras).
- Efectos axiales por gradiente térmico.
- Ataque de fuego.

Procesos de diseño, construcción y operación:

- Deficiencias en la construcción.
- Materiales constitutivos de mala calidad.
- Falta de mantenimiento, desgaste y/o fatiga.
- Deficiencias del diseño estructural.
- Limitaciones de los reglamentos en el momento del diseño (errores epistémicos).
- Fuerzas de la naturaleza subestimadas al momento del diseño (sismo, viento, etc).

Estructurales:

- Pérdida de apoyo de la superestructura durante un sismo o empuje lateral.
- Choque o golpeteo de juntas por movimiento excesivo en sismo.
- Deflexiones o deformaciones previas no consideradas.
- Socavación de la cimentación por un río o afluente.
- Efectos de suelos blandos, licuación, fallas geológicas no estudiadas con propiedad
- Sobrecarga e impacto.
- Crecientes de ríos y procesos de remoción de laderas.

Conocidas las causas que los originan, los deterioros son solucionados con las llamadas acciones de reparación. Estas acciones pueden ser incluidas en un sistema de gestión de puentes, que, tomando en cuenta a todos los puentes de la red vial, debe encargarse de que esta red funcione de manera óptima y continua, realizando las acciones necesarias en el momento adecuado.

Cuando se aplica una acción de reparación, se está aplicando un conjunto de modificaciones e intervenciones necesarias para mejorar el comportamiento futuro del puente. Estas pueden ser reparación, refuerzo o rehabilitación.

En el contexto de reparación, el objetivo es restituir las condiciones iniciales del puente. Al referirse a refuerzo, el objetivo es aumentar la resistencia estructural del puente. Finalmente, la rehabilitación implica la reconstrucción de un puente que no permite su uso habitual.

Un mismo deterioro puede tener varias opciones distintas de reparación y para tomar la decisión de cual utilizar en un caso particular es que se usa como regla optimizar los costos y minimizar la intervención, además de incrementar la seguridad, vida útil, etc. Ya que, además del costo que significa reparar o rehabilitar un puente, también hay consecuencias económicas que se generan con el cierre del puente y van incrementando proporcionalmente al tiempo que este se mantiene cerrado. Se conoce una variedad de técnicas convencionales que son utilizadas como acción de reparación, tales como:

- Relleno o inyección de grietas con morteros de cemento elástico o sustancia epóxicas.
- Inserción de barras o placas para sustituir el acero perdido o faltante.
- Reemplazo de elementos dañados.
- Inclusión de morteros ricos en fibras de acero como recubrimiento.
- Encamisado por falta de resistencia a cortante.
- Refuerzo de uniones o colocación de elementos adicionales.
- Hormigón o mortero lanzado.

Además de los procedimientos en los que se está investigando, los cuales se centran en avanzar en aspectos de nanotecnología para diseñar nuevos materiales, modificar acciones químicas que producen desgaste, aplicar un control activo de energía sísmica y de viento, etc. Entre estos desafíos también se encuentra el de desarrollar un sistema de predicción de daños para evaluar el momento oportuno para realizar la intervención, tema que se abordará en el informe.

Finalmente, considerando la literatura revisada, se listan los deterioros que afectan tanto al acero como al hormigón. El listado de la Tabla 2.2 es el que se utiliza para calcular el Índice de Calificación Automático (ICA') de los componentes del puente, ya que estos son los que están considerados en el algoritmo debido a su implicación en su condición estructural. Se puede encontrar su descripción y causas posibles en el Catálogo de daños para Inspecciones Principales en estructuras (MOP, 2017).

Tabla 2.2. Deterioros considerados (MOP, 2017)

Deterioros
Alteración superficial
Armadura vista
Baches, ahuellamiento
Cárcavas
Coqueras, nidos de grava
Corrosión
Deformación
Socavación local
Desprendimiento de hormigón con armadura vista
Desprendimiento de hormigón sin armadura vista
Desplazamiento
Eflorescencias
Fisuras
Fisuras en mapa
Grietas (>5 mm)
Humedad, filtraciones
Hundimiento
Lajación
Madrigueras
Pátina, mancha de óxido

Tabla 2.2. Deterioros considerados (MOP, 2017) (Continuación)

Deterioros
Pérdida de pieza
Pérdida de tratamiento protector
Piezas sueltas
Rotura

2.4. Índice de calificación

La condición o estado de un puente desde el punto de vista estructural y funcional, se califica mediante índices de condición. Los índices de condición son una expresión matemática que agrupa la calificación de condición de cada elemento y/o componente de un puente para obtener una nota global o por elemento (de Solminihac *et al.*, 2018).

Estos se obtienen mediante una suma ponderada de la magnitud y severidad de los deterioros presentes en cada componente/elementos de un puente, usando como ponderador la importancia relativa de cada uno de los componentes/elementos para la integridad estructural y funcional el puente.

Los puentes pueden ser evaluados para conocer su condición, lo que sirve como insumo para un sistema de gestión de puentes, que es el que ayuda a decidir en qué momento actuar para que la reparación sea la óptima, considerando el costo y la mejora en la condición del puente.

Para llegar a este índice de calificación, se desarrolló un método para evaluar y obtener un número que defina el estado de conservación de la estructura que se está analizando, en este caso un puente.

Con una calificación que va entre el 1 y el 100, se utilizó el algoritmo de I3MOP que entrega la calificación global por medio de una inspección principal, que por medio de la observación reúne y enlista todos los deterioros que presenta el puente. Esta calificación se va transmitiendo desde la unidad más básica (deterioro) hasta el puente completo, como se muestra en la Figura 2.2.

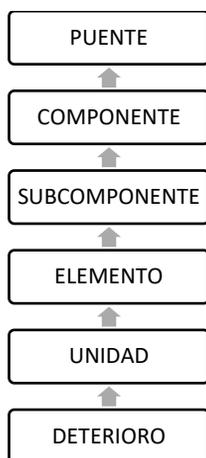


Figura 2.2. Niveles de estructuración de un puente

Esta dependencia es la que hace que la calificación se transmita entre los distintos niveles de estructuración del puente de forma ascendente, que parte con un conjunto de deterioros y finaliza con el cálculo de la calificación global, la cual permite caracterizar el estado de conservación del puente a partir de cinco rangos previamente definidos. Estos cinco rangos de calificación se presentan en la Tabla 2.3, en donde además del intervalo que define cada calificación, muestra una descripción de un puente en ese estado y el plazo en el que es recomendable aplicarle una acción de reparación.

Tabla 2.3. Rangos de calificación global del puente (MOP, 2020)

Calificación	Descripción	Actuación
80 – 100	Puente con daños de carácter durable o funcional leve	A largo plazo
60 – 79	Puente con daños de carácter durable o funcional medios	A medio o largo plazo
40 – 59	Puente con daños de carácter resistente leve o funcional extendido	A medio plazo
20 – 39	Puente con daños de carácter medios o funcionales graves	A corto plazo
0 – 19	Puente colapsado o daños de carácter resistentes muy graves	Urgente - Inmediata

También, en base a este algoritmo, se desarrolló un método de calificación de condición para incluir en el modelo de flujo de valor, que considera el puente como un activo.

A partir de este método de calificación automático presentado por I3MOP, por medio de una nota técnica se propone ajustarlo para obtener calificaciones automáticas por componente, llamándolo I3MOP 2.0 (Jiménez, 2022). Para esta versión del método, se sabe que el peor deterioro será el que gobierne la condición.

En la Tabla 2.4 detalla las variables explicativas para cada función de cálculo según su nivel de agregación y, en la Tabla 2.5, se muestran los rangos para la calificación global de condición del puente definidos en esta adaptación.

Tabla 2.4. Variables que inciden en la estimación de la condición del puente (Adaptado de MOP, 2020)

Nivel de agregación	Variables explicativas del índice en cada nivel de agregación
Deterioro	Extensión del deterioro, gravedad del deterioro, ponderador por deterioro, ponderador por unidad, ponderador por causa del deterioro
Unidad	Cantidad de deterioros de la unidad, menor calificación entre los deterioros
Elemento	Cantidad de deterioros del elemento, menor calificación entre los deterioros de las unidades
Subcomponente	Número de elementos del subcomponente, ponderador del subcomponente, cantidad de deterioros del subcomponente, menor calificación entre los deterioros de los elementos

Tabla 2.4. Variables que inciden en la estimación de la condición del puente (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Nivel de agregación	Variables explicativas del índice en cada nivel de agregación
Componente	Número de subcomponentes del componente, cantidad de deterioros del componente, menor calificación entre los deterioros de los subcomponentes
Puente	Número de componentes del puente, cantidad de deterioros del puente, menor calificación entre los deterioros de los componentes, tráfico, porcentaje de vehículos pesados

Tabla 2.5. Rangos de calificación de condición global del puente (Adaptado de MOP, 2020)

Rango	Calificación de condición
80-100	Puente con deterioros de carácter durable o funcional leve
60-80	Puente con deterioros de carácter durable o funcional medios
40-60	Puente con deterioros de carácter resistente leves o de carácter durable o funcional extendidos
20-40	Puente con deterioros de carácter resistente medios. Deterioros durables o funcionales graves
0-20	Puente colapsado o con deterioros de carácter resistente muy graves

Calificando los deterioros desde la parte más elemental del puente (unidad), y escala los deterioros, seleccionando y ponderando la peor calificación en cada nivel, lo que se puede observar en la Figura 2.3.

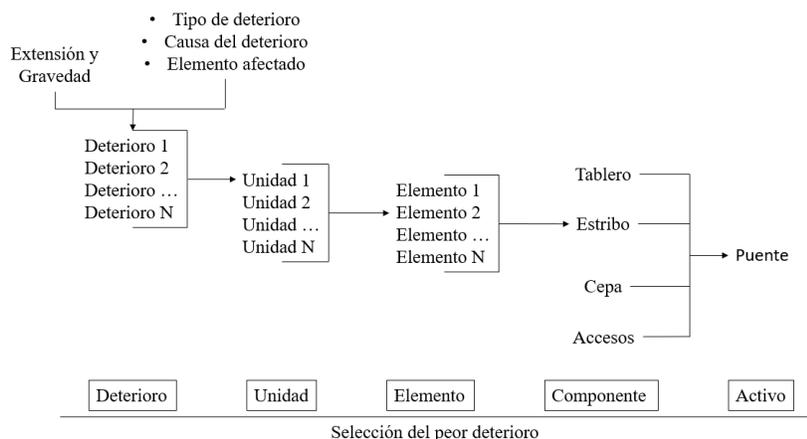


Figura 2.3. Representación esquemática del método de calificación propuesto

Donde la obtención de la calificación comienza con la identificación del deterioro, la causa de este y la unidad, perteneciente a un elemento, afectado por el deterioro, como se muestra en las siguientes ecuaciones. De la Ecuación 2.1 se obtiene la calificación de los deterioros por medio de los distintos ponderadores que se nombran a continuación.

$$C_d = C_o \times P_d \times P_u \times P_c \tag{2.1}$$

Donde:

- P_d : Peso del deterioro.
- P_u : Ponderación por unidad.
- P_c : Peso de la causa.

La componente C_o se obtiene según la Ecuación 2.2.

$$C_o = \frac{[100 - ((V_{\text{extensión}} + V_{\text{gravedad}}) \times 4)]}{100} \quad (2.2)$$

$V_{\text{extensión}}$ y V_{gravedad} se definen para cada deterioro y se les asigna un coeficiente de acuerdo con la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Tablas de pesos de ponderación por “Extensión” y “Gravedad” (Adaptado de MOP, 2020)

Extensión	$V_{\text{extensión}}$	Gravedad	V_{gravedad}
Pequeña (<25%)	0,15	Mínima	0,10
Media (25%<Ext<50%)	0,50	Media	3,00
Elevada (50%<Ext<75%)	2,00	Alta	8,00
Muy elevada (>75%)	3,50	Muy alta	13,00

Los deterioros considerados para el cálculo del ICA’ se presentan en la Tabla 2.7, además de sus ponderaciones por deterioro:

Tabla 2.7. Tabla de pesos de ponderación por “Deterioro” (Adaptado de MOP, 2020)

Deterioro	P_d
Alteración superficial	97,00
Armadura vista	96,00
Baches, ahuellamiento	97,00
Cárcavas	96,00
Coqueras, nidos de grava	99,00
Corrosión	92,00
Deformación	89,00
Socavación local	80,00

Tabla 2.7. Tabla de pesos de ponderación por “Deterioro” (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Deterioro	Pa
Desprendimientos de hormigón con armadura vista	92,00
Desprendimientos de hormigón sin armadura vista	99,00
Desplazamiento	93,00
Eflorescencias	98,00
Fisuras	88,00
Fisuras en mapa	93,00
Grietas (>5 mm)	87,00
Humedades, filtraciones	99,00
Hundimiento	92,00
Lajación	92,00
Madrigueras	98,00
Pátina, mancha de óxido	99,00
Pérdida de pieza	91,00
Pérdida de tratamiento protector	98,00
Piezas sueltas	92,00
Rotura	85,00

Los ponderadores restantes se encuentran en el Anexo 3.1.

Para utilizarlo se necesitan como datos iniciales los del inventario de cada puente, sobre los que se asignan los deterioros observados en terreno por el inspector por medio de la aplicación INSPECTOR, que es una aplicación que posee el algoritmo de calificación programado tal que se obtiene un único índice para cada puente.

2.5. Conclusiones

De los elementos del puente que conforman la estructura se hace la distinción entre elementos resistentes y no resistentes, lo que simplifica el cálculo del índice de calificación ya que considera solo a los elementos que aportan a la resistencia estructural.

Se encontró un método de calificación que cumple las necesidades para la elaboración del catálogo, el cual mediante una inspección principal obtiene los datos de entrada necesarios para obtener una calificación de la condición del puente. Utilizando esto se puede cuantificar el daño que presenta el deterioro en el puente en cuestión, lo que a su vez facilita la toma de decisiones sobre cuándo y que tipo de reparaciones son necesarias para garantizar una operación segura y eficiente de la red vial.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE CATÁLOGO DE REPARACIONES

3.1. Introducción

En el presente capítulo se utiliza un método para evaluar la condición del puente por medio de una calificación, llamado ICA'. En base a este método se desarrolla un algoritmo que puede ser replicado para la obtención de la variación en el ICA' del puente luego de repararlo.

3.2. Recopilación de información sobre deterioros en elementos del puente

Para comenzar la creación del catálogo se recopiló distintas fichas de inspección general principal de puentes, obtenidas del Ministerio de Obras Públicas. Se depuró los informes obtenidos considerando solamente los puentes de tipología estructural convencional de vigas, que es el tipo de puente de interés.

Los puentes que se encuentran ubicados en una misma zona tienen condiciones ambientales y climatológicas similares entre ellos, por lo que un mismo deterioro los afecta de manera similar. De esta manera, se clasifican según la región en la que se encuentran, de acuerdo con la siguiente distribución en macrozonas:

- Zona Norte: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama.
- Zona Centro: Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana de Santiago, Libertador General Bernardo O'Higgins y Maule.
- Zona Sur: Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos.
- Zona Austral: Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Magallanes y la Antártica Chilena.

Además, en la Tabla 3.1 se clasificó según la calificación global del puente. Donde la variable "ICA inspección" es la calificación que obtenida de la ficha de inspección general y "rango" es el rango en que se encuentra el puente según su calificación, de acuerdo con la Tabla 2.5.

Tabla 3.1. Listado de puentes obtenido

N	ICA inspección	Región	Zona	Rango
1	56	Tarapacá	Norte	3
2	52	Coquimbo	Centro	3
3	70	Tarapacá	Norte	4
4	53	Atacama	Norte	3
5	74	Valparaíso	Centro	4
6	63	Valparaíso	Centro	4
7	55	Atacama	Norte	3
8	80	O'Higgins	Centro	5
9	57	Maule	Centro	3
10	81	Maule	Centro	5
11	68	Maule	Centro	4
12	50	Biobío	Sur	3
13	77	Ñuble	Sur	4
14	61	Los Lagos	Austral	4
15	76	Aysén	Austral	4
16	82	Aysén	Austral	5
17	50	RM	Centro	3
18	59	Los Ríos	Sur	3
19	68	Atacama	Norte	4
20	51	Atacama	Norte	3
21	63	O'Higgins	Centro	4
22	71	O'Higgins	Centro	4
23	70	Maule	Centro	4
24	59	Maule	Centro	3
25	55	Biobío	Sur	3
26	70	Biobío	Sur	4
27	52	Biobío	Sur	3
28	69	Biobío	Sur	4
29	44	Aysén	Austral	3
30	40	Magallanes	Austral	3
31	50	Magallanes	Austral	3
32	79	Aysén	Austral	4
33	75	Magallanes	Austral	4
34	64	Magallanes	Austral	4
35	72	Magallanes	Austral	4
36	65	Magallanes	Austral	4
37	66	RM	Centro	4
38	75	RM	Centro	4
39	58	RM	Centro	3
40	42	Biobío	Sur	3

Tabla 3.1. Listado de puentes obtenido (Continuación)

N	ICA inspección	Región	Zona	Rango
41	67	Coquimbo	Centro	4
42	54	Coquimbo	Centro	3
43	66	Valparaíso	Centro	4
44	61	Valparaíso	Centro	4
45	77	O'Higgins	Centro	4
46	74	Ñuble	Sur	4
47	77	Araucanía	Sur	4
48	68	Los Lagos	Sur	4
49	56	Los Ríos	Sur	3
50	66	Araucanía	Sur	4
51	77	Antofagasta	Norte	4
52	40	Antofagasta	Norte	3

Considerando la calificación obtenida, se presenta la siguiente regla con la que se puede definir la acción de reparación necesaria para cualquier puente de tipo viga.

Si $ICA' \leq 40 \rightarrow$ Cierre puente

Si $40 < ICA' < 80 \rightarrow$ Mantenimiento o reparación

Si $ICA' \geq 80 \rightarrow$ Puente en buen estado

Los datos obtenidos de cada una de las fichas que se utilizó para el análisis son:

- Identificación del puente: Nombre, código que lo identifica a nivel nacional, provincia y región donde está ubicado.
- Deterioros: Nombre del deterioro (De la Tabla 2.7)
- Causa.
- Gravedad y extensión.

Además, dentro de las fichas se cuenta con fotografías y comentarios del deterioro hechos por el inspector, que pueden ser de apoyo para el reconocimiento de este.

3.3. Propuesta de jerarquización de deterioros

En la Tabla 3.2, como se trabaja en base a los deterioros, se define tres distintas categorías que consideran la ponderación del deterioro definida en la Tabla 2.7. Estas categorías consideran los ponderadores que presenta cada deterioro y se define los intervalos que comprenden cada una de ellas de acuerdo con el nivel de significación que tienen para la estructura, en donde en la categoría 1 se encuentran los deterioros con ponderador menor a 90, los que se consideran más importantes para la estructura y son los que disminuyen más la calificación de condición de esta y, en la categoría 3, se encuentran los de ponderador mayor que 96, los que se consideran de menor importancia debido a la mínima variación que habrá en la calificación de la estructura al estar presentes.

Tabla 3.2. Tabla de deterioros y categorías según ponderación

Deterioro	P_d	Categoría
Socavación local	80,00	1
Rotura	85,00	
Grietas (>5 mm)	87,00	
Fisuras	88,00	
Deformación	89,00	
Pérdida de pieza	91,00	2
Desprendimiento de hormigón con armadura vista	92,00	
Corrosión	92,00	
Hundimiento	92,00	
Lajación	92,00	
Piezas sueltas	92,00	
Desplazamiento	93,00	
Fisuras en mapa o en retícula	93,00	
Armadura vista	96,00	

Tabla 3.2. Tabla de deterioros y categorías según ponderación (Continuación)

Deterioro	Pa	Categoría
Cárcavas	96,00	3
Alteración superficial	97,00	
Baches, ahuellamiento	97,00	
Pérdida de tratamiento protector	98,00	
Eflorescencias	98,00	
Madrigueras	98,00	
Coqueras, nidos de grava	99,00	
Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	99,00	
Pátina, mancha de óxido	99,00	
Humedad, filtraciones	99,00	

Estos puentes se ven afectados por distintos deterioros, los cuales se listan en la Tabla 2.2 y son definidos en el Catálogo de deterioros para la realización de inspecciones principales en estructuras (MOP, 2017). Los elementos a los que el deterioro afecta se separan en los siguientes cuatro componentes: Tablero, estribos, cepas y accesos u otros.

Puesto que, del listado de deterioros considerado, no todos los deterioros afectan a cada uno de los elementos del puente, se define los que tienen opción de ocurrencia para cada componente y los que no ocurren, para no considerarlos en el análisis. Para definirlo se consideró las fichas de inspección obtenidas, de las que se extrae los deterioros que afectan a cada uno de los componentes en la realidad y cuáles son los deterioros que no ocurren en cada uno de los componentes. Además, para efectos de cálculo, se seleccionó la unidad y causa más extremas (de menor ponderador) para cada uno de los extremos de las categorías. A continuación, se presentan las tablas con los deterioros con opción de ocurrencia para cada uno de los componentes, donde la Tabla 3.3 muestra los deterioros posibles para el tablero, la Tabla 3.4 los deterioros posibles para los estribos, la Tabla 3.5 los deterioros posibles para las cepas y la Tabla 3.6 los deterioros posibles en los accesos. En el Anexo 2.1 se puede ver el proceso para la determinación de los deterioros que pueden ocurrir y como se llegó a las siguientes tablas.

Tabla 3.3. Deterioros posibles en Tablero

Deterioro	Pd	Categoría	Unidad	Causa
Socavación local	80	1		No aplica
Rotura	85		Viga	Causa desconocida
Grietas (>5 mm)	87			
Fisuras	88			
Deformación	89		Viga	Esfuerzos
Pérdida de pieza	91			
Desprendimiento de hormigón con armadura vista	92	2	Losa	Golpe o impacto
Corrosión	92			
Hundimiento	92			No aplica
Lajación	92			
Piezas sueltas	92			No aplica
Desplazamiento	93			
Fisuras en mapa o en retícula	93		Losa	Abrasión por tránsito
Armadura vista	96			No aplica
Cárcavas	96			No aplica
Alteración superficial	97		Viga	Abrasión por tránsito
Baches, ahuellamiento	97			
Pérdida de tratamiento protector	98			
Eflorescencias	98			
Madrigueras	98	3		No aplica
Coqueras, nidos de grava	99			
Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	99			
Pátina, mancha de óxido	99			
Humedad, filtraciones	99		Viga	Mal funcionamiento del sistema de drenaje

Tabla 3.4. Deterioros posibles en Estribos

Deterioro	Pd	Categoría	Unidad	Causa
Socavación local	80	1	Fundación	Escorrentía superficial
Rotura	85			
Grietas (>5 mm)	87			
Fisuras	88		Muro frontal portante	Esfuerzos
Deformación	89		No aplica	
Pérdida de pieza	91	2	No aplica	
Desprendimiento de hormigón con armadura vista	92		Muro frontal portante	Golpe o impacto
Corrosión	92			
Hundimiento	92		No aplica	
Lajación	92			
Piezas sueltas	92		No aplica	
Desplazamiento	93			
Fisuras en mapa o en retícula	93		Muro frontal portante	Abrasión por tránsito
Armadura vista	96		No aplica	
Cárcavas	96	3	Muro de contención	Escorrentía superficial
Alteración superficial	97			
Baches, ahuellamiento	97		No aplica	
Pérdida de tratamiento protector	98			
Eflorescencias	98			
Madrigueras	98			
Coqueras, nidos de grava	99			
Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	99			
Pátina, mancha de óxido	99			
Humedad, filtraciones	99		Muro frontal portante	Mal funcionamiento del sistema de drenaje

Tabla 3.5. Deterioros posibles en Cepas

Deterioro	Pd	Categoría	Unidad	Causa
Socavación local	80	1	Fundación	Escorrentía superficial
Rotura	85			
Grietas (>5 mm)	87			
Fisuras	88		Verticalidad	Esfuerzos
Deformación	89			No aplica
Pérdida de pieza	91	2		No aplica
Desprendimiento de hormigón con armadura vista	92		Verticalidad	Golpe o impacto
Corrosión	92			
Hundimiento	92			No aplica
Lajación	92			
Piezas sueltas	92			No aplica
Desplazamiento	93			
Fisuras en mapa o en retícula	93			
Armadura vista	96		Verticalidad	Escasez de recubrimiento
Cárcavas	96		Verticalidad	Escorrentía superficial
Alteración superficial	97			
Baches, ahuellamiento	97		No aplica	
Pérdida de tratamiento protector	98			
Eflorescencias	98			
Madrigueras	98		No aplica	
Coqueras, nidos de grava	99	3		
Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	99			
Pátina, mancha de óxido	99			
Humedad, filtraciones	99		Verticalidad	Mal funcionamiento del sistema de drenaje

Tabla 3.6. Deterioros posibles en Accesos

Deterioro	Pd	Categoría	Unidad	Causa
Socavación local	80	1	No aplica	
Rotura	85		Pavimento	Causa desconocida
Grietas (>5 mm)	87			
Fisuras	88			
Deformación	89		Pavimento	Esfuerzos
Pérdida de pieza	91	2	Pavimento	Causa desconocida
Desprendimiento de hormigón con armadura vista	92			
Corrosión	92		No aplica	
Hundimiento	92			
Lajación	92			
Piezas sueltas	92			
Desplazamiento	93			
Fisuras en mapa o en retícula	93			
Armadura vista	96		Pavimento	Abrasión por tránsito
Cárcavas	96		No aplica	
Alteración superficial	97	Pavimento	Abrasión por tránsito	
Baches, ahuellamiento	97			
Pérdida de tratamiento protector	98			
Eflorescencias	98			
Madrigueras	98	No aplica		
Coqueras, nidos de grava	99			
Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	99	Pavimento	Golpe o impacto	
Pátina, mancha de óxido	99	No aplica		
Humedad, filtraciones	99	No aplica		

3.4. Proposición de modelo de variación de índice de condición automático

En el capítulo anterior se presenta el algoritmo ICA, que es el que se encuentra inserto en el software I3MOP y que entrega una calificación global de la condición del puente.

Además, se presenta una variación simplificada del algoritmo ICA, desarrollada en el laboratorio de Gestión de Sistemas de Transporte de la Universidad de Concepción (GESITRAN). Esta variación entrega una nueva calificación, que se denomina ICA' y considera el valor del activo puente y es para cada uno de sus cuatro componentes por separado. Este modelo se puede ver en el Anexo 2.2.

Para conocer la variación en la calificación ICA' se realiza el siguiente proceso iterativo.

1. Ingreso de deterioros del puente: Se computan los deterioros que presenta el componente del puente, incluyendo todos los datos necesarios. Se establece una calificación de condición del puente en su estado inicial, que se denomina ICA'₀.
2. Reparación del peor deterioro: Se selecciona el peor deterioro de acuerdo con las categorías definidas en la Tabla 3.2 y se elimina del software, simulando su reparación.
3. Recálculo de la calificación: Con la nueva configuración de deterioros, donde deberían quedar el total menos uno, se obtiene una nueva calificación para el puente que se denomina ICA'₁.
4. Cálculo de la variación en calificación: Con las calificaciones obtenidas anteriormente, ICA'₀ e ICA'₁, se calcula la variación en la calificación luego de realizar una reparación. Esta variación lleva por nombre $\Delta ICA'$, que debe ser siempre positiva.

El proceso se repite las veces necesarias hasta eliminar todos los deterioros de la lista, simulando la total reparación del puente.

Para este caso, se utiliza la categorización definida en la Tabla 3.2, que ordena los deterioros de acuerdo con sus ponderadores. Dentro de cada una de estas categorías, se definen dos subcategorías, las cuales corresponden a los valores extremos que puede obtener el ponderador de deterioro para el cálculo del ICA'. Estas se utilizan para definir los intervalos en los que puede

variar la calificación del puente, para cada una de estas categorías. Lo que se muestra a continuación:

Categoría 1:

- C1-1: Deterioro dentro de la categoría 1 con menor ponderador.
- C1-2: Deterioro dentro de la categoría 1 con mayor ponderador.

Categoría 2:

- C2-1: Deterioro dentro de la categoría 2 con menor ponderador.
- C2-2: Deterioro dentro de la categoría 2 con mayor ponderador.

Categoría 3:

- C3-1: Deterioro dentro de la categoría 3 con menor ponderador.
- C3-2: Deterioro dentro de la categoría 3 con mayor ponderador.

Para obtener las variaciones se considera un puente que presenta dos deterioros en un componente. Esto debido a que se quiere estudiar cuanto aumenta la calificación de un puente luego de reparar sólo uno de sus deterioros, por lo que para que el resultado sea más cercano a la realidad, debe quedar al menos un deterioro sin reparar en el puente en estudio. Contrario a lo que ocurre considerando solo un deterioro, en donde luego de repararlo se obtiene el puente en su máxima condición (Calificación 100).

Considerando las subcategorías definidas, se analiza las variaciones en el ICA' según los casos que se muestran en la Tabla 3.7. En donde los deterioros son distintos para cada uno de los componentes.

Tabla 3.7. Casos que considerar para variaciones

Deterioro 1	Deterioro 2	Caso
C1-1	C1-2	1
	C2-1	2
	C2-2	3
	C3-1	4
	C3-2	5
C1-2	C2-1	6
	C2-2	7
	C3-1	8
	C3-2	9

Tabla 3.7. Casos que considerar para variaciones (Continuación)

Deterioro 1	Deterioro 2	Caso
C2-1	C2-2	10
	C3-1	11
	C3-2	12
C2-2	C3-1	13
	C3-2	14
C3-1	C3-2	15

Para el deterioro 1, que es el que más afecta, se hace variar la gravedad y la extensión en sus cuatro niveles al momento de calcular el ICA'_0 , obteniendo todas las combinaciones posibles. De esta manera se obtienen 16 distintos casos, de los cuales se puede definir el rango de valores en el que puede aumentar la calificación al reparar el deterioro.

Para el deterioro 2, que es el que queda presente en el puente luego de reparar el deterioro 1, se fija la componente de extensión y para la gravedad se utilizan dos valores, mínima y media, que según lo observado en la base de puentes reales son los más recurrentes.

3.5. Elaboración de catálogo de reparaciones

Anteriormente se conoció la forma de obtener la variación en la calificación del deterioro siguiendo el algoritmo. Para elaborar el catálogo de reparaciones se tiene cuatro secciones principales que lo configuran, las que se definen a continuación:

- Deterioro: nombre del deterioro que afecta al puente, de acuerdo con la Tabla 2.7.
- $\Delta ICA'$: variación en el índice de calificación automático del puente luego de reparar el deterioro señalado. En este caso es un intervalo de valores.
- Acción de reparación: nombre de la acción de reparación disponible para el deterioro.
- Elemento: elemento que se ve afectado por el deterioro. Los elementos se nombran por una letra, de acuerdo con lo siguiente:

V: Vigas

P: Pavimento

C: Cepas

E: Estribos

T: Tablero

A: Accesos

F: Fundación

Además, se incluyen las siguientes secciones a modo de información adicional:

- Tipo de operación: relevancia de la acción de reparación, puede ser refuerzo, reemplazo o reparación
- Material: materialidad del elemento en estudio, puede ser hormigón o acero.

Con todos los datos obtenidos, el catálogo se va completando para cada uno de los deterioros de la siguiente forma:

1. Acción de reparación: se ingresa todas las acciones de reparación que sirvan para el deterioro.
2. Tipo de operación: uno para cada acción de reparación.
3. Material: uno para cada acción de reparación.
4. Elemento: se ingresa todos los elementos a los que se asocia el deterioro. Uno para cada acción de reparación.
5. Δ ICA': se ingresa como valor único o como un rango de valores de la siguiente forma (menor valor, mayor valor).

Finalmente, en la Tabla 3.8 se presenta un ejemplo del catálogo, para el deterioro Alteración superficial.

Tabla 3.8. Ejemplo de catálogo de reparaciones

DETERIORO	ACCIÓN DE REPARACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN	MATERIAL	ELEMENTO	DELTA ICA´
Alteración superficial	Tratamiento superficial	Refuerzo	Hormigón	Pav	1 a 23
	Cambio de pavimento asfáltico	Reemplazo	Hormigón	Pav	1 a 23
	Encamisado	Refuerzo	Hormigón	Pav - E - C	1 a 23

Puede encontrarse el catálogo de reparaciones completo en el Anexo 1.1. Además, las acciones de reparación que se enuncian y su descripción se encuentran en el Anexo 4.3.

3.6. Conclusiones

Se desarrolló una metodología efectiva para evaluar puentes mediante la calificación ICA', la cual proporciona un enfoque sistemático y replicable para evaluar el estado de los puentes de estructuración convencional de tipo viga.

Se propuso una jerarquización de deterioros, clasificándolos en tres categorías según su ponderación, que proporciona una base para la toma de decisiones al considerar la importancia relativa de cada deterioro en la condición estructural.

La variación del ICA' se modeló mediante un algoritmo iterativo que simula la reparación secuencial de deterioros. Este modelo permite entender como afecta cada reparación a la calificación del puente, proporcionando información valiosa para la planificación de mantenimiento.

Finalmente, se generó un catálogo completo de reparaciones que abarca los deterioros definidos y los asocia a las distintas acciones de reparación, tipos de operación, materiales y elementos afectados; ofreciendo una herramienta para la gestión eficiente del mantenimiento.

CAPÍTULO 4 ELABORACIÓN DE CATÁLOGO DE REPARACIONES

En el presente capítulo se muestra la aplicación del método mostrado en el capítulo anterior, para la elaboración del catálogo de reparaciones para puentes tipo viga.

4.1. Recopilación de información sobre deterioros en elementos del puente

En primer lugar, se consideró la base de datos de puentes listada en la Tabla 3.1 para tener una perspectiva de la realidad de los puentes en Chile. Se realizó con el fin de apreciar el rango en el que es más recurrente encontrar puentes.

Se obtuvo la cantidad de puentes para cada uno de los rangos definidos anteriormente, lo que se puede apreciar en la Figura 4.1.

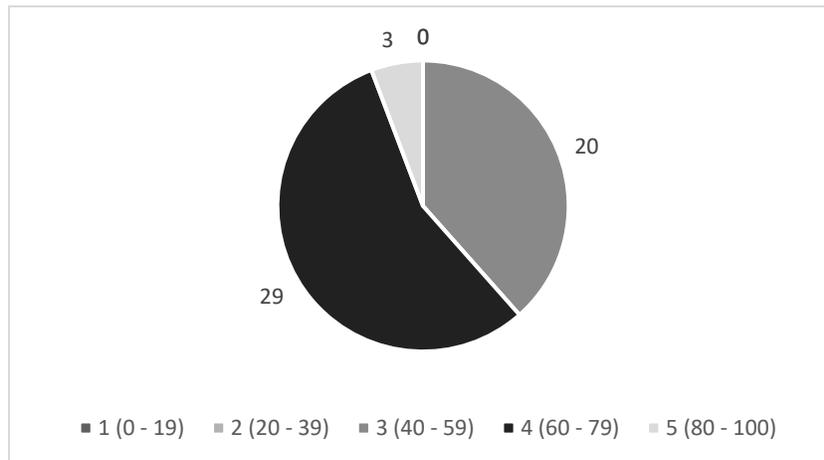


Figura 4.1. Cantidad de puentes para cada uno de los rangos según base de datos

En el capítulo anterior se definen los datos de las fichas de inspección principal que deben ser usados para el análisis, los que son los datos de entrada para la obtención de la calificación de cada componente del puente.

Además, en base al criterio para seleccionar la acción de reparación necesaria presentado, se observa que la mayor cantidad de los puentes se encuentran en el rango 4, que dice la necesidad de una acción de mantenimiento o reparación. Además, dentro de la base datos no se observó puentes que indicaran el cierre preventivo por obtener una calificación dentro del rango 1 o 2.

4.2. Jerarquización de deterioros y posibilidad de ocurrencia

En la Tabla 3.2, se presentó la jerarquización de deterioros que consta de tres distintos niveles, los que en base al ponderador del deterioro pueden ser más o menos relevantes para la calificación por componente que se obtiene. Al utilizar esta tabla para los deterioros de un puente se puede predecir cual será el que más relevancia tendrá en la calificación, ya que mientras menor sea el ponderador de deterioro, más disminuirá la calificación del puente al tener ese deterioro presente.

Como se expone en la sección 3.3, no todos los deterioros pueden afectar a cada uno de los componentes. Por lo tanto, la información obtenida de las Tablas 3.3 a 3.6 define los distintos deterioros posibles para cada uno de estos componentes, generando así una nueva versión de la Tabla 3.2 para cada caso. En estas tablas se define la Unidad y Causa que más afecta a la calificación del componente, para así obtener el caso extremo para cada uno de los deterioros, lo que se utilizará más adelante.

4.3. Modelo de variación de índice de calificación automático

En el capítulo anterior, se presenta una versión del algoritmo ICA que está inserto en el software I3MOP, además de una versión simplificada que se desarrolló en el Laboratorio de Gestión de Sistemas de Transporte Udec. Esta última versión es la que se utiliza para obtener la variación en la calificación del puente por medio de un algoritmo implementado en una planilla Excel.

Para obtener la variación en la calificación ICA' se realiza un procedimiento iterativo que se puede revisar con más detalle en el Anexo 2.1 y sigue los siguientes pasos:

1. Ingresar deterioros del puente para establecer la calificación de condición del puente en su estado inicial, ICA'₀.
2. Reparación del peor deterioro en base a las tres categorías definidas en Tabla 3.2, donde los deterioros de la categoría 1 son prioritarios a reparar debido al aumento en la calificación del componente que significa su existencia.
3. Calcular nueva calificación del puente considerando la configuración de deterioros actualizada, obteniendo ICA'₁.

4. Calcular la variación en la calificación utilizando las dos calificaciones obtenidas en los pasos 1 y 3. La diferencia entre los dos valores entrega $\Delta ICA'$, que es uno de los datos necesarios para la elaboración del catálogo.

Este procedimiento iterativo acaba cuando el último deterioro presente es eliminado (o reparado) y el componente en análisis presenta una calificación ICA' máxima (de 100 puntos).

En el Anexo 4.1 se presenta un ejemplo de cómo se realiza el cálculo de la calificación para un componente del puente.

Luego, utilizando la categorización de la Tabla 3.2, se selecciona los extremos de cada una de las categorías tal como se presenta en el capítulo anterior. Para obtener la variación en la calificación se considera el caso de un puente que presenta dos deterioros en el componente seleccionado. Estos dos deterioros irán variando de acuerdo con los 15 casos presentados en la Tabla 3.7.

En el Anexo 4.2 se muestra un ejemplo con más detalle de este procedimiento.

4.4. Elaboración de catálogo de reparaciones

Finalmente, para la elaboración del catálogo de reparaciones, el cual se compone de los elementos enunciados en la sección 3.5. Los datos se van ingresando al catálogo de la siguiente manera, que se ordena de acuerdo con las columnas definidas para este, como se mostró en la Tabla 3.8.

1. Deterioro: se ingresa el nombre del deterioro que afecta al puente según el listado de la Tabla 2.7 en el orden que se presenta. Lo que de acuerdo con el ejemplo de la Tabla 3.8 sería: "Alteración superficial".
2. Acción de reparación: se ingresa el nombre de las n reparaciones que pueden ser utilizadas para el deterioro seleccionado. Las reparaciones para cada deterioro son distintas, lo que ofrece una mayor cantidad de opciones para un mismo deterioro. Estas se diferencian en la duración, tiempo de ejecución y costo.

3. Tipo de operación: cada una de las acciones de reparación va asociada a un tipo de operación, que puede ser refuerzo, reemplazo o reparación. Estos tipos se diferencian en la magnitud de la intervención y su costo, principalmente.
4. Material: cada una de las acciones de reparación se le asocia una materialidad, que puede ser Acero u Hormigón.
5. Elemento: dato que define al elemento que afecta el deterioro, los seis elementos considerados se presentan en la sección 3.5. y se ingresan con una letra en el catálogo.
6. $\Delta ICA'$: se ingresa como valor único o como un rango de valores de la siguiente forma (menor valor, mayor valor). Estos valores son obtenidos según el procedimiento presentado en el capítulo 3.

De acuerdo con la Tabla 2.2 de deterioros considerados y las reparaciones obtenidas de la bibliografía revisada, se listan distintas reparaciones que se asocian a un deterioro. Estas reparaciones se definen por los siguientes datos: nombre, tipo de operación, material, elemento y, además, la variación en el ICA' que se consigue al realizarla.

Al ingresar todos los datos mencionados anteriormente, se obtiene el catálogo de reparaciones que se presenta en el Anexo 1.1. Además, las acciones de reparación y su descripción se encuentran en el Anexo 4.3.

Al obtener un intervalo de valores para $\Delta ICA'$ se conoce el rango en el que aumentará la calificación luego de reparar el deterioro seleccionado. Para realizar este análisis para el caso de un puente que no se encuentra en la base de datos, se debe realizar el procedimiento mostrado en el Anexo 4.1 que entrega como resultado la variación en el ICA' para cualquier configuración de deterioros.

4.5. Conclusiones

En el presente capítulo se demostró como aplicar el método previamente discutido en el capítulo anterior para la elaboración de un catálogo de reparaciones, en este caso, para puentes tipo viga. La recopilación de información sobre deterioros en elementos del puente ha sido esencial para apreciar la realidad de los puentes en Chile y determinar la necesidad de acciones de reparación o mantenimiento.

Con la jerarquización de los deterioros y su relación con la calificación de condición de los componentes del puente, permite identificar los deterioros más críticos. Además, la elaboración del catálogo ofrece una herramienta valiosa que ayudará a tomar decisiones informadas sobre las acciones necesarias para conservar el puente en condiciones óptimas de funcionamiento.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

Se elaboró un catálogo de reparaciones para puentes, permitiendo priorizar la reparación de los deterioros según su influencia en la estructura. Para esto se identificaron los componentes resistentes y no resistentes del puente, para simplificar la evaluación de su condición. Se adoptó el Índice de Calificación Automático ICA' para obtener una calificación del puente y tomar decisiones sobre las reparaciones necesarias, considerando la relación entre las reparaciones y la mejora en la condición del puente observada.

Es necesario mantener los puentes en óptimas condiciones para asegurar la continuidad de la red vial chilena, dada la extensión y conformación de esta. La falta de mantenimiento y los deterioros afectan la capacidad y durabilidad de los puentes, resaltando la necesidad de una gestión de puentes de características preventivas con la que tomar decisiones informadas.

El índice de calificación automático (ICA') seleccionado es necesario para obtener una cuantificación del daño en el puente. Este índice, por medio de una inspección visual obtiene los datos de entrada e ingresándolos en el software se obtiene la calificación por componente. Esto facilita la toma de decisiones al momento de planificar reparaciones en la red vial.

El método desarrollado para la elaboración del catálogo de reparaciones permite evaluar la condición del puente y sumado a la categorización de las acciones de reparación obtenida, permite una gestión más efectiva de la infraestructura vial. La propuesta presenta una base sólida para tomar decisiones sobre el mantenimiento y reparación de puentes, esto contribuye a garantizar la seguridad y eficiencia de la red vial chilena.

Como línea de investigación futura se puede agregar una evaluación económica del costo que tendría realizar cada una de las reparaciones. Con la inclusión de este nuevo parámetro en el catálogo, se podría cuantificar de mejor manera cuanto significará en términos económicos la realización de la acción de reparación en el puente. Esto que podría ser utilizado como un presupuesto y considerado en la toma de decisiones.

Además, podría agregarse la componente vida útil al problema, con el fin de conocer cuanta vida útil o tiempo de uso aumentará el puente al realizar la acción de reparación seleccionada. Así, además de las reparaciones y el cambio en su calificación de condición, se conocerá el costo que tendrá (preferentemente en metros lineales de puente) y cuanto aumentará la vida útil del puente.

REFERENCIAS

- ACI Committee 224 (2007). *Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures*. American Concrete Institute.
- Bouscher, J., Danovich, L., Hartle, R., Ryan, T., Mann, J. Eric, Sosko, W. y Bouscher, J. (2006). *Bridge Inspector's Reference Manual*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Chamorro, A., de Solminihac, H. y Echaveguren, T. (2018). *Gestión de Infraestructura Vial 3ª Edición*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Federal Highway Administration (2015). *Bridge Maintenance Reference Manual*. Publication No. FHWA-NHI-14-050. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Flores, J. (2006). *Conservación de puentes carreteros*. [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2010). *Manual de técnicas de reparación y refuerzo para estructuras de hormigón armado y albañilerías*. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.
- Malgarejo, L. (2009). *Metodología para la asignación de costos de mantenimiento de puentes*. [Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Concepción].
- Mascia, N. y Sartorti, A. (2011). Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. *Revista ingeniería de construcción*, 26(1), 05-24.
- Ministerio de Obras Públicas (2020). *Manual para la obtención de calificación de puentes*. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas.
- Ministerio de Obras Públicas (2022). *Manual de Carreteras Volumen 3 - Instrucciones y criterios de diseño*. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas.
- Ministerio de Obras Públicas (2022). *Manual de Carreteras Volumen 7 - Mantenimiento vial*. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas.

- Hernández, R., Muñoz, E., Santacruz, L., Trujillo, L. y Valbuena, E. (2005). Rehabilitación de los puentes de la red de carreteras de Colombia basados en inspecciones visuales, estudios especializados y estrategias de reparación. *Revista Ingeniería de Construcción*, 20 (1), 159 - 182.
- Revie, R.W., y Uhlig, H.H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control - An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. John Wiley & Sons.
- Valenzuela, S. (2008). *Metodología de gestión de puentes a nivel de red basada en inspección visual*. [Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile].
- Winkler, E. (2011). *Proposición de mantención, rehabilitación y recomendaciones de diseño para la región de Los Lagos*. [Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Austral de Chile].

ANEXO 1.1 Catálogo de reparaciones

Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones

DETERIORO	Nº	ACCIÓN DE REPARACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN	FUENTE	MATERIAL	ELEMENTO	DELTA ICA´
Alteración superficial	1	Tratamiento superficial	Refuerzo	Hernández <i>et al.</i> (2005)	Hormigón	Pav	1 a 23
	2	Cambio de pavimento asfáltico	Reemplazo	Hernández <i>et al.</i> (2005)	Hormigón	Pav	1 a 23
	3	Encamisado	Refuerzo	FHWA (2015)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 23
Armadura vista	4	Encamisado	Refuerzo	FHWA (2015)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 4
	5	Reparación con morteros expansivos	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 4
Baches, ahuellamiento	6	Reparación superficial de hormigones	Reparación	MOP (2021)	Hormigón	V - T - E - C	1 a 22
	7	Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto	Reparación	MOP (2021)	Hormigón	Pav	1 a 22
	8	Reparación de extremos de viga de hormigón armado	Reparación	FHWA (2015)	Hormigón	V	1 a 22
Cárcavas	-	-	-	-	-	-	1 a 13
Nidos de grava	9	Reparación superficial de hormigones	Reparación	MOP (2021)	Hormigón	V - T - E - C	1 a 11
	10	Aplicación de hormigón Prepackt	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 11

Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones (Continuación)

DETERIORO	Nº	ACCIÓN DE REPARACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN	FUENTE	MATERIAL	ELEMENTO	DELTA ICA'
Corrosión	11	Revestimiento de cemento con polímero modificado	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	E - C	2 a 30
	12	Recapado y membranas, como latex de concreto modificado	Refuerzo	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav	2 a 30
	13	Refuerzo con placa de acero	Reparación	Malgarejo (2009)	Acero	V	2 a 30
	14	Empalme de barra pretensado	Reparación	FHWA (2015)	Acero	V	2 a 30
	15	Colocación de pilotes adicionales	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	E - C	1
Deformación	16	Refuerzo con cables exteriores	Refuerzo	Hernández <i>et al.</i> (2005)	Acero	V	1
	17	Enderezamiento térmico	Reparación	FHWA (2008)	Acero	V	1
	18	Enderezamiento mecánico	Reparación	FHWA (2008)	Acero	V	1
Socavación local	19	Reparación de terraplén de acceso	Reparación	Hernández <i>et al.</i> (2005)	Hormigón	A	1 a 37
	20	Colocación de gaviones	Refuerzo	Malgarejo (2009)	Hormigón	A - E - C	1 a 37

Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones (Continuación)

DETERIORO	N°	ACCIÓN DE REPARACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN	FUENTE	MATERIAL	ELEMENTO	DELTA ICA'
Desprendimientos de hormigón con armadura vista	21	Refuerzo con armadura y mortero adicional	Refuerzo	FHWA (2015)	Hormigón	Pav	1 a 29
	22	Reparación de hormigón con armaduras corroídas	Reparación	MOP (2021)	Hormigón	V - T - E - C - A	1 a 29
	23	Reparación con morteros expansivos	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 29
Desprendimientos de hormigón sin armadura vista	24	Encamisado	Refuerzo	FHWA (2015)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 24
	25	Reparación con morteros expansivos	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 24
Desplazamiento	-	-	-	-	-	-	1
Eflorescencias	26	Revestimiento de cemento con polímero modificado	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	E - C	1 a 15
	27	Inyección de fisuras con sello por gravedad	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	T - E - C	1 a 18
Fisuras	28	Reparación con morteros expansivos	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 18
	29	Inyección de lechada hidráulica con cemento	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 18
Fisuras en mapa	30	Inyección de lechada hidráulica con cemento Portland	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 20
	31	Cambio de pavimento asfáltico	Reemplazo	Hernández <i>et al.</i> (2005)	Hormigón	Pav	1 a 20

Tabla A1.1. Catálogo de reparaciones (Continuación)

DETERIORO	N°	ACCIÓN DE REPARACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN	FUENTE	MATERIAL	ELEMENTO	DELTA ICA'
Grietas (>5 mm)	32	Reparación superficial de hormigones	Reparación	MOP (2021)	Hormigón	V - T - E - C	1 a 25
	33	Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto	Reparación	MOP (2021)	Hormigón	Pav	1 a 25
	34	Reparación con inyección de epoxi	Reparación	MOP (2021)	Hormigón	V - T - E - C - A	1 a 25
	35	Reparación de superficie con hormigón proyectado	Reparación	FHWA (2015)	Hormigón	V - T - E - C - A	1 a 25
	36	Reparación de miembros de superestructura de hormigón mediante aplicación de polímero de fibra reforzada	Reparación	FHWA (2015)	Hormigón	V	1 a 25
	37	Reparación de extremos de viga de hormigón armado	Reparación	FHWA (2015)	Hormigón	V	1 a 25
	38	Reparación con morteros expansivos	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 25
	39	Revestimiento con mortero proyectado	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	Pav - E - C	1 a 25
	40	Reparación con soldadura	Reparación	Winkler (2011)	Acero	V	1 a 25
	41	Revestimiento de cemento con polímero modificado	Reparación	Malgarejo (2009)	Hormigón	E - C	1 a 13
Humedades, filtraciones							

Tabla A2.4. Deterioros presentes en puentes parte 4

DETERIOROS	PUENTES												
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Alteración superficial							3			3		1	
Armadura vista					2								
Baches, ahuellamiento			3	1						2			
Cárcava		1								2			
Coqueras, nidos de grava				2							2	1	
Corrosión										4			
Deformación			1										
Socavación local					1					1			
Desprendimiento de hormigón CAV	3		2		10			1	1	2			1
Desprendimiento de hormigón SAV	5		1								2		
Desplazamiento										3			1
Eflorescencias	2	2		2		1		8		2	1		
Fisuras	2		8	2		2	1			2		2	1
Fisuras en mapa o en retícula										4	1		
Grietas (> 5 mm)	4												2
Humedad, filtraciones	9		6	1		4	1	2	6	4	1		
Hundimiento													
Lajación													
Madrigueras													
Pátina, mancha de óxido	3						3						
Pérdida de pieza										2			
Pérdida de tratamiento protector		4	2					1	1	10			
Piezas sueltas													
Rotura	3												

Con estos datos se sabe que existe una muestra de todos los deterioros considerados, a excepción de dos, de los que no se tiene información ni un caso de ejemplo en la realidad. Estos son: Hundimiento y Lajación. Luego, se especifica más este análisis, considerando los componentes del puente por separado.

De cada una de las fichas de Inspección Principal se obtiene el deterioro y a que componente del puente afecta. Se analiza estas de las fichas de inspección para extraer la información, lo que sumado a la información del catálogo de deterioros para la realización de Inspecciones Principales en estructuras del MOP, entrega como resultado la Tabla A2.5.

Tabla A2.5. Deterioros posibles por componente

DETERIOROS	Tablero	Estribo	Cepa	Accesos
Alteración superficial	Sí	Sí	Sí	Sí
Armadura vista	Sí	No	Sí	Sí
Baches, ahuellamiento	Sí	No	No	Sí
Cárcavas	No	Sí	Sí	No
Coqueras, nidos de grava	Sí	Sí	Sí	Sí
Corrosión	Sí	Sí	Sí	No
Deformación	Sí	No	No	Sí
Socavación local	No	Sí	Sí	No
Desprendimiento de hormigón CAV	Sí	Sí	Sí	Sí
Desprendimiento de hormigón SAV	Sí	Sí	Sí	Sí
Desplazamiento	Sí	Sí	Sí	Sí
Eflorescencias	Sí	Sí	Sí	Sí
Fisuras	Sí	Sí	Sí	Sí
Fisuras en mapa o en retícula	Sí	Sí	Sí	Sí
Grietas (> 5 mm)	Sí	Sí	Sí	Sí
Humedad, filtraciones	Sí	Sí	Sí	No
Hundimiento	No	No	No	Sí
Lajación	Sí	Sí	Sí	Sí
Madrigueras	No	Sí	No	No
Pátina, mancha de óxido	Sí	Sí	Sí	No
Pérdida de pieza	No	No	No	Sí
Pérdida de tratamiento protector	Sí	Sí	Sí	Sí
Piezas sueltas	No	No	No	Sí
Rotura	Sí	Sí	Sí	Sí

ANEXO 3.1 Ponderadores para método I3MOP2.0

Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Adaptado de MOP, 2020)

Subcomponente	Unidades	P _u
Superestructura (bóveda)	Bóveda	0,91
	Tímpano	0,94
	Bóveda (tímpano)	0,94
	Boquilla (tímpano)	0,96
	Montante (tímpano)	0,96
	Boquilla	0,96
	Voladizo	0,96
	Imposta	0,98
	Puntales	0,94
	Revestimiento	0,98
Superestructura convencional (celosía/enrejado)	Cordón superior	0,91
	Cordón inferior	0,91
	Diagonal	0,91
	Montante	0,91
	Voladizo	0,94
	Losa	0,94
	Arriostramiento horizontal	0,96
	Arriostramiento vertical	0,96
	Travesaño central	0,96
	Travesaño extremo en estribo	0,96
	Travesaño extremo en cepa	0,96
	Atiesador	0,94
	Puntales	0,94
	Revestimiento	0,98
Otros	0,96	

Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Subcomponente	Unidades	P _u
Superestructura convencional (de vigas)	Vigas	0,91
	Losa	0,94
	Voladizo	0,94
	Encofrado perdido	0,98
	Prelosas colaborantes	0,96
	Imposta	0,98
	Atiesador	0,94
	Puntales	0,94
	Revestimiento	0,98
	Otros	0,96
	Ábaco	0,97
	Travesaño	0,96
	Arriostramiento vertical	0,96
Arriostramiento horizontal	0,96	
Superestructura convencional (cajón)	Losa	0,91
	Losa Superior	0,91
Superestructura convencional (losa)	Losa Inferior	0,91
	Almas	0,91
	Voladizo	0,94
	Encofrado perdido	0,98
	Prelosas colaborantes	0,96
	Travesaño apoyo	0,96
	Imposta	0,98
	Atiesador	0,94
	Puntales	0,94
	Revestimiento	0,98
	Otros	0,96

Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Subcomponente	Unidades	P _u
Superestructura convencional (losa)	Travesaño intermedio	0,96
Superestructura convencional (marco/pórtico)	Dintel	0,91
	Tímpano	0,96
	Voladizo	0,96
	Imposta	0,98
	Revestimiento	0,98
	Otros	0,96
Superestructura convencional (tubo)	Anillo	0,91
	Tímpano	0,96
	Voladizo	0,96
	Imposta	0,98
	Revestimiento	0,98
	Otros	0,96
	Losa	0,91
	Encofrado perdido	0,98
	Revestimiento	0,98
Cepa	Viga Cabezal	0,96
	Capitel	0,94
	Tapas	0,96
	Pedestal	0,96
	Verticalidad (longitudinal)	0,94
	Tajamar	0,96
	Travesaño	0,96
	Puntal	0,94
	Barras sísmicas	0,98
	Topes sísmicos transversales	0,98
	Abrazaderas	0,98

Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Subcomponente	Unidades	P _u
Cepa	Revestimiento	0,98
	Fundación	0,94
	Otros I	0,96
	Otros II	0,96
Tirante	Tirante	0,89
	Anclaje inferior	0,89
	Capot inferior	0,98
	Macizo anclaje inferior	0,92
	Tubo guía inferior	0,95
	Anillo centrador inferior	0,92
	Tubo antivandálico inferior	0,98
	Amortiguador inferior	0,95
	Anclaje superior	0,89
	Capot superior	0,98
	Macizo anclaje superior	0,92
	Tubo guía superior	0,95
	Anillo centrador superior	0,92
	Tubo antivandálico superior	0,98
	Amortiguador superior	0,95
Arco	Arranques del arco	0,94
	Anillos	0,91
	Travesaños entre anillos	0,94
	Péndolas	0,94
Estribo	Dintel	0,94
	Muro frontal portante	0,94
	Muro de contención de tierras	0,96
	Pila, machones	0,94

Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Subcomponente	Unidades	P _u
Estribo	Pantalla	0,96
	Muro espaldar	0,96
	Tajamar	0,96
	Tapas	0,98
	Anclajes	0,96
	Barras sísmicas	0,98
	Topes sísmicos	0,98
	Revestimiento	0,98
	Fundación	0,94
	Otros I	0,96
	Otros II	0,96
	Refuerzo	0,98
	Tornapunta	0,98
	Fundación	0,94
Muro ala	Muro frontal portante	0,94
	Muro de contención de tierras	0,96
	Fundación	0,94
	Muro frontal	0,94
	Muro de contención de tierras	0,96
	Imposta	0,98
	Otros I	0,96
	Otros II	0,96
Juntas	Calzada Tramo I	0,96
	Calzada Tramo II	0,96
	Pasillo Tramo I	0,96
	Pasillo Tramo II	0,96
	Banda estanca	0,96

Tabla A3.1. Tabla de pesos de ponderación por Unidad (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Subcomponente	Unidades	P _u
Juntas	Transición al pavimento	0,96
Líneas de apoyo	Aparato de apoyo	0,96
	Cuña	0,96
	Cama de nivelación	0,98
	Apoyo Gerber	0,98
	Disipadores sísmicos	0,98
	Aisladores sísmicos	0,98
Cable	Cable	0,89
	Péndolas	0,92
	Macizo anclaje	0,89
	Contraventación	0,95
	Silla en tope de cepas	0,92
	Protección	0,89
Pila (pilono)	Pilas - Sobre tablero	0,92
	Conoexión - Sobre tablero	0,92
	Travesaño - Sobre tablero	0,95
	Revestimiento - Sobre tablero	0,98
	Protección - Sobre tablero	0,98
	Pilas - Bajo tablero	0,92
	Fundación - Bajo tablero	0,92
	Cargadero - Bajo tablero	0,95
	Travesaño - Bajo tablero	0,95
	Capitel - Bajo tablero	0,92
	Revestimiento - Bajo tablero	0,98
Plataforma	Pavimento	0,96
Otros	Terraplenes	0,98
	Enrocados	0,98

Tabla A3.2. Tabla de pesos de ponderación de Causa (Adaptado de MOP, 2020)

Causa	Pc
Abrasión por tránsito	0,98
Acción climática	0,98
Acción de la fauna	0,98
Asiento diferencial	0,85
Ataque químico	0,90
Ausencia o deficiente dispositivo de junta	0,97
Ausencia o deficiente losa de transición	0,97
Cabeceo del muro lateral y existencia de un punto fijo	0,95
Cama de nivelación en mal estado o mal ejecutada	0,94
Capilaridad	0,99
Causa desconocida	0,90
Ciclos hielo-deshielo	0,97
Corrosión	0,93
Corrosión de las armaduras	0,92
Deficiente compactación del relleno	0,93
Deficiente ejecución	0,97
Deformación natural del propio aparato de apoyo	0,99
Desgaste o abrasión por tránsito	0,99
Diseño deficiente	0,92
Envejecimiento	0,99
Escasez de recubrimiento	0,96
Escorrentía superficial	0,98
Esfuerzos	0,80
Esfuerzos (compresión)	0,83
Esfuerzos (cortante)	0,75
Esfuerzos (flexión)	0,75
Esfuerzos (torsión)	0,80

Tabla A3.2. Tabla de pesos de ponderación de Causa (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Causa	Pc
Esfuerzos (tracción)	0,83
Exceso de compresión	0,95
Falta de compresión	0,95
Falta de cuña en el neopreno	0,98
Falta de barbacana	0,97
Falta de limpieza de encofrado	1,00
Falta de protección	0,98
Falta de protección de anclajes	1,00
Falta de protección frente a avenidas	0,91
Calidad deficiente de la pieza/elemento	0,96
Giro	0,88
Giro del estribo	0,85
Giro del muro lateral	0,90
Golpe o impacto	0,95
Impermeabilización defectuosa	0,98
Infra dimensionamiento de apoyos	0,95
Infra dimensionamiento del elemento	0,90
Mal funcionamiento del sistema de drenaje	0,97
Movimiento excesivo del tablero	0,96
Perdida de tratamiento protector	0,98
Presión excesiva de un elemento sobre otro	0,97
Retracción	0,99
Rotura de la solera por acción del tránsito	0,98
Rotura de conducción	0,99
Sedimentación orgánica	1,00
Sedimentación por escorrentía superficial	0,99

Tabla A3.2. Tabla de pesos de ponderación de Causa (Adaptado de MOP, 2020) (Continuación)

Causa	Pc
Subestimación de empujes	0,85
Tensión excesiva en zonas de anclajes	0,90
Vandalismo	0,99

Tabla A3.3. Tabla de pesos de ponderación por Deterioro (Adaptado de MOP, 2020)

Calificación del deterioro (Cd)	λ
0 – 19	10
20 – 39	5
40 – 59	3
60 – 79	2
80 – 100	1

Tabla A3.4. Tabla de pesos de ponderación por Componente (Adaptado de MOP, 2020)

Componente	β
Tablero	0,97
Estribo	0,98
Cepa	0,98
Acceso	1,00

ANEXO 4.1 Ejemplo de cálculo de ICA' para componente

En el presente anexo se mostrará un ejemplo de cómo se realiza el cálculo de la calificación para un elemento del puente, en este caso el Tablero.

Lo primero es ingresar todos los deterioros que afectan al componente en la planilla Excel. Estos deterioros deben computarse junto a su causa, extensión, gravedad y unidad a la que afectan, datos que se obtienen de las Fichas de Inspección Principal del puente. Se ingresan uno a uno como se muestra a continuación:

N° Unidad	Unidad	Deterioro	Causa	Extensión	Gravedad
1	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima

Figura A4.1. Ingreso de datos al algoritmo programado

N° Unidad	Unidad	Deterioro	Causa	Extensión	Gravedad
1	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
4	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
2	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
1	Losa	Nido de piedras	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
1	Voladizo	Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
2	Voladizo	Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
3	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima

Figura A4.2. Planilla con todos los deterioros del componente ingresados

Con todos los deterioros ingresados, la planilla entrega el ICA' (círculo rojo) para el componente seleccionado:

RESULTADOS							
Unidad	Sum(λ)	Total Det.	N*U	Min(Cd)			
Viga	4	4	16	86,52			
Losa	1	1	1	89,37			
Voladizo	2	2	4	89,37			
Encofrado perdido	0	0	0	#####			
Prelosas colaborantes	0	0	0	#####			
Imposta	0	0	0	#####			
Atiesador	0	0	0	#####			
Puntales	0	0	0	#####			
Revestimiento	0	0	0	#####			
Otros	0	0	0	#####			
Abaco	0	0	0	#####			
Travesaño	0	0	0	#####			
Arriostramiento vertical	0	0	0	#####			
Arriostramiento horizontal	0	0	0	#####			
Elemento	NE	CSB	ni	NSB	α	β	C*SB
Superestructura (de vigas)	21	86,52	4	5,25	1	0,97	82,16

ICA'₀

Figura A4.3. Calificación entregada por el programa

Como ya se conoce el índice de calificación automático (ICA') considerando todos los deterioros existentes o ICA' inicial, se almacena el dato inicial. Se debe considerar que el ICA' es siempre un valor entero.

$$ICA'_0 = 82$$

Después, se elimina el deterioro que más afecta entre los presentes en el tablero, para graficarlo se marcará con rojo en la tabla:

Nº Unidad	Unidad	Deterioro	Causa	Extensión	Gravedad
1	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
4	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
2	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
1	Losa	Nido de piedras	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
1	Voladizo	Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
2	Voladizo	Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
3	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima

Figura A4.4. Eliminación del peor deterioro (marcado en rojo)

Luego de eliminar el deterioro, en vez de los siete deterioros iniciales, quedarán seis deterioros presentes y la calificación ICA' cambiará de la siguiente forma:

RESULTADOS							
Unidad	Sum(λ)	Total Det.	N*U	Min(Cd)			
Viga	3	3	9	86,52			
Losa	1	1	1	89,37			
Voladizo	2	2	4	89,37			
Encofrado perdido	0	0	0	#####			
Prelosas colaborantes	0	0	0	#####			
Imposta	0	0	0	#####			
Atiesador	0	0	0	#####			
Puntales	0	0	0	#####			
Revestimiento	0	0	0	#####			
Otros	0	0	0	#####			
Abaco	0	0	0	#####			
Travesaño	0	0	0	#####			
Arriostamiento vertical	0	0	0	#####			
Arriostamiento horizontal	0	0	0	#####			
Elemento	NE	CSB	ni	NSB	α	β	C*SB
Superestructura (de vigas)	14	86,52	4	3,50	1	0,97	82,75

ICA'1

Figura A4.5. Calificación entregada por el programa, luego de eliminar un deterioro

Se almacena el nuevo dato obtenido:

$$ICA'_0 = 82$$

$$ICA'_1 = 83$$

Ahora que se tiene un ICA' inicial y un ICA' luego de “reparar” un deterioro, se calcula la variación en la calificación y se almacena este dato.

$$\Delta ICA' = ICA'_1 - ICA'_0$$

$$\Delta ICA'_1 = 1$$

El siguiente paso es quitar un segundo deterioro y repetir los pasos anteriores. Nuevamente las celdas marcadas en rojo son los deterioros que se borrarán o “repararán”:

N° Unidad	Unidad	Deterioro	Causa	Extensión	Gravedad
1	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
4	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
2	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima
1	Losa	Nido de piedras	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
1	Voladizo	Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
2	Voladizo	Desprendimiento de hormigón sin armadura vista	Deficiente ejecución	Pequeña (< 25%)	Mínima
3	Viga	Pérdida de tratamiento protector	Acción climática	Pequeña (< 25%)	Mínima

Figura A4.6. Eliminación de los dos peores deterioros (marcados en rojo)

Luego, se calcula nuevamente el ICA', que luego de eliminar los dos peores deterioros, entrega este valor:

RESULTADOS							
Unidad	Sum(λ)	Total Det.	N*U	Min(Cd)			
Viga	2	2	4	86,52			
Losa	1	1	1	89,37			
Voladizo	2	2	4	89,37			
Encofrado perdido	0	0	0	#####			
Prelosas colaborantes	0	0	0	#####			
Imposta	0	0	0	#####			
Atiesador	0	0	0	#####			
Puntales	0	0	0	#####			
Revestimiento	0	0	0	#####			
Otros	0	0	0	#####			
Abaco	0	0	0	#####			
Travesaño	0	0	0	#####			
Arriostramiento vertical	0	0	0	#####			
Arriostramiento horizontal	0	0	0	#####			
Elemento	NE	CSB	ni	NSB	α	β	C^*SB
Superestructura (de vigas)	9	86,52	4	2,25	1	0,97	83,17

ICA'₂

Figura A4.7. Calificación entregada por el programa, luego de eliminar dos deterioros

Se almacena el nuevo dato obtenido.

$$ICA'_0 = 82$$

$$ICA'_1 = 83$$

$$ICA'_2 = 83$$

Y, la variación luego de eliminar el segundo peor deterioro es:

$$\Delta ICA'_2 = 1$$

Se realiza las iteraciones necesarias hasta que el componente del puente no se vea afectado por ningún deterioro, simulando su total reparación.

ANEXO 4.2 Ejemplo de cálculo de ICA' para casos extremos

Para este ejemplo se considera configuraciones de deterioros genéricas, en donde los extremos de las categorías definidas en la Tabla 3.2 serán los deterioros que se ingresan en el programa.

Esta simulación se realiza por para cada uno de los componentes del puente. En este caso, a modo de ejemplo, se presentará la simulación en el tablero.

Primero, se listan los extremos de las categorías de deterioros definidas utilizando la Tabla 3.3, la cual muestra los deterioros que pueden ocurrir en el componente en cuestión.

Tabla A4.1. Casos posibles categorizados

Categoría	Código	Deterioro	Ponderador
1	C1-1	Rotura	85
	C1-2	Deformación	89
2	C2-1	Desprendimiento sin armadura a la vista	92
	C2-2	Fisuras en mapa	93
3	C3-1	Alteración superficial	97
	C3-2	Humedad, filtraciones	99

Se realiza el mismo procedimiento mostrado en el Anexo 4.1 para la obtención de la variación en la calificación, con la diferencia de que en este caso se consideran solo dos deterioros fijándose en las combinaciones que se plantearon en la Tabla 3.7 del capítulo 3. Para el primer caso se tiene lo siguiente:

Tabla A4.2. Primer caso para analizar

Categoría	Deterioro	Pd	Causa	Unidad
1	Rotura	85	Causa desconocida	Viga
	Deformación	89	Esfuerzos	Viga

En donde además de los deterioros que se consideran para obtener la variación, a cada uno de ellos se le asocia la causa y unidad más representativa, con el fin de obtener los valores extremos de ICA' que se pueden obtener con las distintas combinaciones. En este caso, el segundo deterioro (Deformación) tendrá gravedad mínima. En la siguiente tabla se aprecia la variación en la calificación al cambiar los valores de extensión y gravedad.

Tabla A.4.3. Cambio en la calificación al variar parámetros

Deterioro	Unidad	Causa	Extensión	Gravedad	ICA'0	ICA'1	Delta ICA'
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Mínima	60	62	2
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Media	57	62	5
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Alta	44	62	18
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Muy alta	30	62	32
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Mínima	60	62	2
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Media	56	62	6
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Alta	43	62	19
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Muy alta	29	62	33
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Mínima	60	62	2
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Media	52	62	10
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Alta	39	62	23
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Muy alta	26	62	36
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Mínima	55	62	7
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Media	48	62	14
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Alta	34	62	28
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Muy alta	22	62	40

Y, en el segundo caso, el segundo deterioro (Deformación) tendrá gravedad media. En la siguiente tabla se aprecia la variación en la calificación:

Tabla A.4.4. Cambio en la calificación al variar parámetros

Deterioro	Unidad	Causa	Extensión	Gravedad	ICA'0	ICA'1	Delta ICA'
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Mínima	53	54	1
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Media	53	54	1
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Alta	43	54	11
Rotura	Viga	Causa desconocida	Pequeña	Muy alta	30	54	24
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Mínima	53	54	1
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Media	52	54	2
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Alta	42	54	12
Rotura	Viga	Causa desconocida	Media	Muy alta	29	54	25
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Mínima	53	54	1
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Media	51	54	3
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Alta	39	54	15
Rotura	Viga	Causa desconocida	Elevada	Muy alta	25	54	29
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Mínima	52	54	2
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Media	48	54	6
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Alta	34	54	20
Rotura	Viga	Causa desconocida	Muy elevada	Muy alta	21	54	33

De este modo se pueden obtener las posibles variaciones que tendrá la calificación de los puentes al reparar un deterioro de cierta categoría y mantener a otro de una categoría que va cada vez siendo más inferiormente distante.

ANEXO 4.3 Acciones de reparación

Tabla A4.5. Tratamiento superficial

<u>N°</u> 1	<u>Acción de reparación:</u> Tratamiento superficial	
<u>Deterioro:</u> Alteración superficial	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento	
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Distribución del aglutinante (asfalto) seguido por colocación de agregados de rocas trituradas, compactación y posterior remoción de agregados sobrantes. Es recomendable introducir señales de reducción de velocidad vehicular, hasta que se realice la limpieza final de la calzada.		
<u>Fuente:</u> Hernández <i>et al.</i> (2005)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 23

Tabla A4.6. Cambio de pavimento asfáltico

<u>N°</u> 2	<u>Acción de reparación:</u> Cambio de pavimento asfáltico	
<u>Deterioro:</u> Alteración superficial	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento	
<u>Tipo de operación:</u> Reemplazo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Remoción completa del pavimento antiguo y limpieza de la superficie. Reparación de daños en la parte superior de la losa. Aplicación de membrana adhesiva bituminosa y colocación de una nueva carpeta asfáltica, mezclada cuidadosamente según especificaciones.		
<u>Fuente:</u> Hernández <i>et al.</i> (2005)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 23

Tabla A4.7. Encamisado

N°: 3	<u>Acción de reparación:</u> Encamisado	
<u>Deterioro:</u> Alteración superficial		<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo		<u>Material:</u> Hormigón
<u>Descripción:</u> Es el tipo más común de protección de pilotes. El encamisado puede ser para protección contra daños por abrasión, reparación de pérdida de sección o ambos. Si fuera solo para protección, consistiría en un revestimiento colocado alrededor del área a proteger con una lechada de cemento o resina epoxi. Si está destinado a reparar daños estructurales, el revestimiento proporcionará espacio para el refuerzo y el espacio entre el revestimiento y la pila vieja se llenará con hormigón.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 23

Tabla A4.8. Encamisado

<u>N°</u> 4	<u>Acción de reparación:</u> Encamisado	
<u>Deterioro:</u> Armadura vista	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Es el tipo más común de protección de pilotes. El encamisado puede ser para protección contra daños por abrasión, reparación de pérdida de sección o ambos. Si fuera solo para protección, consistiría en un revestimiento colocado alrededor del área a proteger con una lechada de cemento o resina epoxi. Si está destinado a reparar daños estructurales, el revestimiento proporcionará espacio para el refuerzo y el espacio entre el revestimiento y la pila vieja se llenará con hormigón.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 4

Tabla A4.9. Reparación con morteros expansivos

<u>N°</u> 5	<u>Acción de reparación:</u> Reparación con morteros expansivos	
<u>Deterioro:</u> Armadura vista	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Procedimiento para reparar desprendimientos de hormigón consistente en mezclas envasadas usadas como morteros que permiten reducir las fisuras y mejoran la adherencia, con ellas se puede aumentar la resistencia y trabajabilidad y reducir el tiempo de curado. A pesar del alto costo, se ocupan cuando hay poco tiempo y se requiere de alta resistencia.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 22

Tabla A4.10. Reparación superficial de hormigones

<u>N°</u> 6	<u>Acción de reparación:</u> Reparación superficial de hormigones	
<u>Deterioro:</u> Baches, ahuellamiento		<u>Elemento afectado:</u> Viga – Tablero – Estribo – Cepa
<u>Tipo de operación:</u> Reparación		<u>Material:</u> Hormigón
<u>Descripción:</u> Trabajos necesarios para reparar hormigones deteriorados superficialmente (desintegrados, agrietados, con nidos de piedra, etc.). En consideración a que este tipo de fallas es, muchas veces, potencialmente generador de problemas más serios, es indispensable que las características y condicionantes de los trabajos de reparación sean el resultado de análisis y estudios realizados por profesionales.		
<u>Fuente:</u> MOP (2021)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 22

Tabla A4.11. Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto

<u>N°</u> 7	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto	
<u>Deterioro:</u> Baches, ahuellamiento		<u>Elemento afectado:</u> Pavimento
<u>Tipo de operación:</u> Reparación		<u>Material:</u> Hormigón
<u>Descripción:</u> Se refiere a los trabajos necesarios para reparar baches y fallas producidas en el pavimento de hormigón o de asfalto de una estructura. El mismo procedimiento se puede utilizar para reemplazar la totalidad del pavimento de la estructura.		
<u>Fuente:</u> MOP (2021)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 22

Tabla A4.12. Reparación de extremos de viga de hormigón armado

<u>N°</u> 8	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de extremos de viga de hormigón armado	
<u>Deterioro:</u> Baches, ahuellamiento	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Los extremos de las vigas de concreto reforzado pueden sufrir grietas y desconches cerca de los cojinetes debido a juntas con fugas que causan corrosión, daños por congelamiento o deshielo o por fuerzas térmicas que se desarrollan cuando los cojinetes no permiten el movimiento adecuado. También se puede aplicar a vigas pretensadas.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)	<u>ΔICA':</u> 1 a 22	

Tabla A4.13. Reparación superficial de hormigones

<u>N°</u> 9	<u>Acción de reparación:</u> Reparación superficial de hormigones	
<u>Deterioro:</u> Nidos de grava	<u>Elemento afectado:</u> Viga – Tablero – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Trabajos necesarios para reparar hormigones deteriorados superficialmente (desintegrados, agrietados, con nidos de piedra, etc). En consideración a que este tipo de fallas es, muchas veces, potencialmente generador de problemas más serios, es indispensable que las características y condicionantes de los trabajos de reparación sean el resultado de análisis y estudios realizados por profesionales.		
<u>Fuente:</u> MOP (2021)	<u>ΔICA':</u> 1 a 11	

Tabla A4.14. Aplicación de hormigón Prepackt

<u>N°</u> 10	<u>Acción de reparación:</u> Aplicación de hormigón Prepackt	
<u>Deterioro:</u> Nidos de grava	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Medida de reparación de las disgregaciones del hormigón, utilizado en lugares de difícil acceso y bajo el agua, se utiliza para reparar superficies de la obra, hacer recubrimientos y llenar cavidades. Posee mayor adherencia con el hormigón antiguo que uno tradicional, posee más resistencia que un hormigón tradicional y más durabilidad.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 11	

Tabla A4.15. Revestimiento de cemento con polímero modificado

<u>N°</u> 11	<u>Acción de reparación:</u> Revestimiento de cemento con polímero modificado	
<u>Deterioro:</u> Corrosión	<u>Elemento afectado:</u> Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Se aplican sellos de cemento de polímero modificado en aquellas zonas que no están expuestas al tráfico, como lo son muros, cepas, estribos, etc. Luego de limpiar y preparar la superficie de hormigón, se aplica una capa de cemento de polímero modificado e inmediatamente se colocan los agregados.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 2 a 30	

Tabla A4.16. Recapado y membranas, como látex de concreto modificado

<u>N°</u> 12	<u>Acción de reparación:</u> Recapado y membranas, como látex de concreto modificado	
<u>Deterioro:</u> Corrosión	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento	
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Recapado y membranas actúan como una barrera para impedir el ingreso de ion cloruro, se coloca una aplicación sobre la cubierta existente, logrando una superficie de rodado más cómoda.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 2 a 30	

Tabla A4.17. Refuerzo con placa de acero

<u>N°</u> 13	<u>Acción de reparación:</u> Refuerzo con placa de acero	
<u>Deterioro:</u> Corrosión	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Acero	
<u>Descripción:</u> Se colocan placas metálicas que envuelven el elemento estructural que se va a reforzar, sin una conexión continua, a nivel de sección, la unión se realiza en los extremos. Se coloca una placa alrededor del elemento a reforzar y en los extremos de ella se colocan angulares, en sus esquinas, los que se unen entre sí por presillas soldadas.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 2 a 30	

Tabla A4.18. Empalme de barra pretensado

<u>N°.</u> 14	<u>Acción de reparación:</u> Empalme de barra pretensado	
<u>Deterioro:</u> Corrosión	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Acero	
<u>Descripción:</u> Las fugas en las juntas sobre los extremos de las vigas y los largueros someten esas áreas a humedad repetitiva que degrada el revestimiento de acero y provoca corrosión y pérdida de sección. Por lo general, afecta la parte inferior de los extremos de las vigas, los refuerzos de apoyo y los diafragmas de los extremos.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)	<u>ΔICA':</u> 2 a 30	

Tabla A4.19. Colocación de pilotes adicionales

<u>N°.</u> 15	<u>Acción de reparación:</u> Colocación de pilotes adicionales	
<u>Deterioro:</u> Deformación	<u>Elemento afectado:</u> Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Medida de reparación para los desplazamientos de la infraestructura que busca nuevos apoyos de ella, a través de la adición de mayores fundaciones. Se colocan nuevos pilotes fuera de las zapatas actuales y se construyen nuevas zapatas, encima de los pilotes nuevos, y que deben ser una continuación de las zapatas existentes, de los pilotes antiguos, es decir, se debe crear una unión para enlazar las zapatas, para que luego de la unión, la capacidad portante sea mayor.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1	

Tabla A4.20. Refuerzo con cables exteriores

<u>N°</u> 16	<u>Acción de reparación:</u> Refuerzo con cables exteriores	
<u>Deterioro:</u> Deformación	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo	<u>Material:</u> Acero	
<u>Descripción:</u> Se necesita estudios de capacidad de carga acompañados de patología estructural, con el objeto de actualizar las vigas para que resistan las cargas actuales de diseño. Generalmente se aplican cables exteriores en refuerzo a cortante y flexión.		
<u>Fuente:</u> Hernández <i>et al.</i> (2005)		<u>ΔICA'</u> : 1

Tabla A4.21. Enderezamiento térmico

<u>N°</u> 17	<u>Acción de reparación:</u> Enderezamiento térmico	
<u>Deterioro:</u> Deformación	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Acero	
<u>Descripción:</u> Es un procedimiento de reparación en el que se aplica calor controlado en patrones específicos a las regiones deformadas plásticamente del acero dañado en ciclos repetitivos de calentamiento y enfriamiento para enderezar gradualmente el material. El proceso se basa en restricciones internas y externas que producen espesamiento (o alteración) durante la fase de calentamiento y contracción en el plano durante la fase de enfriamiento.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)		<u>ΔICA'</u> : 1

Tabla A4.22. Enderezamiento mecánico

<u>N°</u> 18	<u>Acción de reparación:</u> Enderezamiento mecánico	
<u>Deterioro:</u> Deformación	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Acero	
<u>Descripción:</u> En el enderezamiento mecánico en caliente la fuerza externa se aplica después del calentamiento para enderezar el daño. Estas fuerzas aplicadas producen tensiones muy por encima del rendimiento, lo que resulta en grandes movimientos durante un solo ciclo de calor. A menudo, el miembro se endereza completamente mediante la aplicación continua de una gran fuerza durante un solo ciclo.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)	<u>ΔICA'</u> : 1	

Tabla A4.23. Reparación de terraplén de acceso

<u>N°</u> 19	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de terraplén de acceso	
<u>Deterioro:</u> Socavación local	<u>Elemento afectado:</u> Accesos	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Dependiendo del problema y la dimensión de conos y taludes, se requiere estudios de geotecnia y estabilidad de taludes con el objeto de definir las obras de reparación. Se reparan los terraplenes de acceso para dar más estabilidad a la estructura.		
<u>Fuente:</u> Hernández <i>et al.</i> (2005)	<u>ΔICA'</u> : 1 a 37	

Tabla A4.24. Colocación de gaviones

<u>N°</u> 20	<u>Acción de reparación:</u> Colocación de gaviones	
<u>Deterioro:</u> Socavación local	<u>Elemento afectado:</u> Accesos – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Medida preventiva para evitar la socavación. Se colocan gaviones, mallas de acero con piedras en su interior, a los pies de cepas, estribos y/o accesos. Se fabrican con mallas de alambre de acero y luego se rellenan con piedras.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 37

Tabla A4.25. Refuerzo con armadura y mortero adicional

<u>N°</u> 21	<u>Acción de reparación:</u> Refuerzo con armadura y mortero adicional	
<u>Deterioro:</u> Desprendimientos de hormigón con armadura vista	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento	
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Los elementos de la superestructura de hormigón suelen estar reforzados con barras de refuerzo. El refuerzo puede sufrir pérdidas de sección debido a la corrosión o puede dañarse por el impacto de un vehículo. Las técnicas de reparación utilizadas para restaurar el refuerzo varían dependiendo de si el acero está sometido a esfuerzos o no. Además, se utiliza mortero para cubrir las zonas donde el hormigón deja las armaduras a la vista.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 29

Tabla A4.26. Reparación de hormigón con armaduras corroídas

<u>N°</u> 22	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de hormigón con armaduras corroídas	
<u>Deterioro:</u> Desprendimientos de hormigón con armadura vista	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Viga – Cepa – Estribo - Accesos	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Trabajos necesarios para reparar hormigones que presentan daños por corrosión de las armaduras. Incluye la colocación de un producto inhibidor de la corrosión, así como la reposición del hormigón mediante mortero proyectado mecánicamente. De igual modo, incluye la colocación o reemplazo de armaduras, si se observa pérdida de estas.		
<u>Fuente:</u> MOP (2021)	<u>ΔICA':</u> 1 a 29	

Tabla A4.27. Reparación con morteros expansivos

<u>N°</u> 23	<u>Acción de reparación:</u> Reparación con morteros expansivos	
<u>Deterioro:</u> Desprendimientos de hormigón con armadura vista	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Procedimiento para reparar desprendimientos de hormigón consistente en mezclas envasadas usadas como morteros que permiten reducir las fisuras y mejoran la adherencia, con ellas se puede aumentar la resistencia y trabajabilidad y reducir el tiempo de curado. A pesar del alto costo, se ocupan cuando hay poco tiempo y se requiere de alta resistencia.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 29	

Tabla A4.28. Encamisado

<u>N°</u> 24	<u>Acción de reparación:</u> Encamisado	
<u>Deterioro:</u> Desprendimientos de hormigón sin armadura vista	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Es el tipo más común de protección de pilotes. El encamisado puede ser para protección contra daños por abrasión, reparación de pérdida de sección o ambos. Si fuera solo para protección, consistiría en un revestimiento colocado alrededor del área a proteger con una lechada de cemento o resina epoxi. Si está destinado a reparar daños estructurales, el revestimiento proporcionará espacio para el refuerzo.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 24

Tabla A4.29. Reparación con morteros expansivos

<u>N°</u> 25	<u>Acción de reparación:</u> Reparación con morteros expansivos	
<u>Deterioro:</u> Desprendimientos de hormigón sin armadura vista	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Procedimiento para reparar desprendimientos de hormigón consistente en mezclas envasadas usadas como morteros que permiten reducir las fisuras y mejoran la adherencia, con ellas se puede aumentar la resistencia y trabajabilidad y reducir el tiempo de curado. A pesar del alto costo, se ocupan cuando hay poco tiempo y se requiere de alta resistencia.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 24

Tabla A4.30. Revestimiento con cemento con polímero modificado

<u>N°</u> 26	<u>Acción de reparación:</u> Revestimiento de cemento con polímero modificado	
<u>Deterioro:</u> Eflorescencias	<u>Elemento afectado:</u> Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Se aplican sellos de cemento de polímero modificado en aquellas zonas que no están expuestas al tráfico, como lo son muros, cepas, estribos, etc. Luego de limpiar y preparar la superficie de hormigón, se aplica una capa de cemento de polímero modificado e inmediatamente se colocan los agregados.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 15	

Tabla A4.31. Inyección de fisuras con sello de gravedad

<u>N°</u> 27	<u>Acción de reparación:</u> Inyección de fisuras con sello por gravedad	
<u>Deterioro:</u> Fisuras	<u>Elemento afectado:</u> Tablero – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Reparación de una grieta de hormigón, que compromete la capacidad estructural de la obra, a través de la inyección a presión de un producto sellante adecuado. Para devolver la capacidad estructural al hormigón.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 18	

Tabla A4.32. Reparación con morteros expansivos

<u>N°</u> 28	<u>Acción de reparación:</u> Reparación con morteros expansivos	
<u>Deterioro:</u> Fisuras	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Procedimiento para reparar desprendimientos de hormigón consistente en mezclas envasadas usadas como morteros que permiten reducir las fisuras y mejoran la adherencia, con ellas se puede aumentar la resistencia y trabajabilidad y reducir el tiempo de curado. A pesar del alto costo, se ocupan cuando hay poco tiempo y se requiere de alta resistencia.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 18	

Tabla A4.33. Inyección de lechada hidráulica con cemento Portland

<u>N°</u> 29	<u>Acción de reparación:</u> Inyección de lechada hidráulica con cemento Portland	
<u>Deterioro:</u> Fisuras	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Medida de reparación de fisuras. La inyección de lechada hidráulica se realiza del mismo modo que la inyección de resina, se prefiere ésta y la inyección de lechada hidráulica se utiliza cuando el fuego y las bajas temperaturas tienen influencia.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 18	

Tabla A4.34. Inyección de lechada hidráulica con cemento Portland

<u>N°</u> 30	<u>Acción de reparación:</u> Inyección de lechada hidráulica con cemento Portland	
<u>Deterioro:</u> Fisuras en mapa	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Medida de reparación de fisuras. La inyección de lechada hidráulica se realiza del mismo modo que la inyección de resina, se prefiere ésta y la inyección de lechada hidráulica se utiliza cuando el fuego y las bajas temperaturas tienen influencia.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)		<u>ΔICA’:</u> 1 a 20

Tabla A4.35. Cambio de pavimento asfáltico

<u>N°</u> 31	<u>Acción de reparación:</u> Cambio de pavimento asfáltico	
<u>Deterioro:</u> Cambio de pavimento asfáltico	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento	
<u>Tipo de operación:</u> Reemplazo	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Remoción completa del pavimento antiguo y limpieza de la superficie. Reparación de posibles daños en la parte superior de la losa. Aplicación de una membrana adhesiva bituminosa (“tack coat”) y colocación de una nueva carpeta asfáltica, mezclada cuidadosamente según especificaciones.		
<u>Fuente:</u> Hernández <i>et al.</i> (2005)		<u>ΔICA’:</u> 1 a 20

Tabla A4.36. Reparación superficial de hormigones

<u>N°.</u> 32	<u>Acción de reparación:</u> Reparación superficial de hormigones	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Tablero – Viga – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Trabajos necesarios para reparar hormigones deteriorados superficialmente (desintegrados, agrietados, con nidos de piedra, etc). En consideración a que este tipo de fallas es, muchas veces, potencialmente generador de problemas más serios, es indispensable que las características y condicionantes de los trabajos de reparación sean el resultado de análisis y estudios realizados por profesionales.		
<u>Fuente:</u> MOP (2021)	<u>ΔICA':</u> 1 a 25	

Tabla A4.37. Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto

<u>N°.</u> 33	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de pavimentos de hormigón y asfalto	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Se refiere a los trabajos necesarios para reparar baches y fallas producidas en el pavimento de hormigón o de asfalto de una estructura. El mismo procedimiento se puede utilizar para reemplazar la totalidad del pavimento de la estructura.		
<u>Fuente:</u> MOP (2021)	<u>ΔICA':</u> 1 a 25	

Tabla A4.38. Reparación con inyección de epoxi

<u>N°</u> 34	<u>Acción de reparación:</u> Reparación con inyección de epoxi	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Tablero – Viga – Estribo – Cepa – Accesos	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Trabajos necesarios para reparar hormigones que presenten grietas que comprometan la capacidad estructural de la obra. En consideración a que este tipo de fallas es, muchas veces, potencialmente generador de problemas más serios, es indispensable que las características y condicionantes de los trabajos de reparación sean el resultado de análisis y estudios.		
<u>Fuente:</u> MOP (2021)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 25

Tabla A4.39. Reparación de superficie con hormigón proyectado

<u>N°</u> 35	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de superficie con hormigón proyectado	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Tablero – Viga – Estribo – Cepa – Accesos	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> El hormigón proyectado se puede utilizar en la reparación de subestructuras de hormigón. El hormigón proyectado es un hormigón o mortero rociado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. Este tipo de reparación es efectiva para vigas de puentes, tapas, pilares, pilares, paredes laterales y cubiertas.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 25

Tabla A4.40. Reparación de miembros superestructura de hormigón mediante aplicación de polímero de fibra reforzada

<u>N°</u> 36	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de miembros de superestructura de hormigón mediante aplicación de polímero de fibra reforzada	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> La resistencia a la flexión y al corte de los elementos de la superestructura de hormigón se puede aumentar o restaurar mediante la aplicación de tiras de polímero reforzado con fibras unidas externamente que complementan el acero de tracción dentro del miembro. Este método de reparación puede ser muy efectivo para restaurar la resistencia en vigas y travesaños que han perdido resistencia debido a grietas o pérdida de acero causada por impacto o deterioro.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)	<u>ΔICA'</u> : 1 a 25	

Tabla A4.41. Reparación de extremos de viga de hormigón armado

<u>N°</u> 37	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de extremos de viga de hormigón armado	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Los extremos de las vigas de concreto reforzado pueden sufrir grietas y desconches cerca de los cojinetes debido a juntas con fugas que causan corrosión, daños por congelamiento o deshielo o por fuerzas térmicas que se desarrollan cuando los cojinetes no permiten el movimiento adecuado. También se puede aplicar a vigas pretensadas, siempre que se consulte a un ingeniero.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)	<u>ΔICA'</u> : 1 a 25	

Tabla A4.42. Reparación con morteros expansivos

<u>N°</u> 38	<u>Acción de reparación:</u> Reparación con morteros expansivos	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Procedimiento para reparar desprendimientos de hormigón consistente en mezclas envasadas usadas como morteros que permiten reducir las fisuras y mejoran la adherencia, con ellas se puede aumentar la resistencia y trabajabilidad y reducir el tiempo de curado. A pesar del alto costo, se ocupan cuando hay poco tiempo y se requiere de alta resistencia.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 25	

Tabla A4.43. Revestimiento con mortero proyectado

<u>N°</u> 39	<u>Acción de reparación:</u> Revestimiento con mortero proyectado	
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Pavimento – Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Conocido también como “shotcrete”, es una mezcla de cemento portland, arena y agua que se proyecta con aire comprimido y que se usa para restaurar superficies de hormigón que no se han deteriorado en profundidad. Se aplica en superficies verticales, en desplome y horizontales y no se puede utilizar en superficies que deban de ser lisas.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 25	

Tabla A4.44. Reparación con soldadura

<u>N°</u> 40	<u>Acción de reparación:</u> Reparación con soldadura
<u>Deterioro:</u> Grietas (>5 mm)	<u>Elemento afectado:</u> Viga
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Acero
<u>Descripción:</u> Las uniones más importantes en el acero son la que implican soldadura, tornillos o remaches. Las uniones si están dañadas pueden repararse o sustituirse, según sea el daño en que se encuentren. En general, se puede aplicar soldadura a cualquier unión para fijarla.	
<u>Fuente:</u> Winkler (2011)	<u>ΔICA':</u> 1 a 25

Tabla A4.45. Revestimiento con cemento con polímero modificado.

<u>N°</u> 41	<u>Acción de reparación:</u> Revestimiento de cemento con polímero modificado	
<u>Deterioro:</u> Humedades, filtraciones	<u>Elemento afectado:</u> Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Acero	
<u>Descripción:</u> Se aplican sellos de cemento de polímero modificado en aquellas zonas que no están expuestas al tráfico, como lo son muros, cepas, estribos, etc. Luego de limpiar y preparar la superficie de hormigón, se aplica una capa de cemento de polímero modificado e inmediatamente se colocan los agregados.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 13	

Tabla A4.46. Reparación de estabilización de asentamiento de zapatas

N°: 42	<u>Acción de reparación:</u> Reparación de estabilización de asentamiento de zapatas	
<u>Deterioro:</u> Hundimiento		<u>Elemento afectado:</u> Fundación (Estribo – Cepa)
<u>Tipo de operación:</u> Reparación		<u>Material:</u> Hormigón
<u>Descripción:</u> Todas las fundaciones sufren algún asentamiento. Sin embargo, los movimientos de cimentación muy pequeños no tienen ningún efecto. Las estructuras de vano simple, y aquellas con juntas, tolerarán incluso desplazamientos diferenciales moderados con poca dificultad aparte de grietas menores. Los movimientos de grandes magnitudes, especialmente cuando son diferenciales, provocan daños en casi todas las estructuras. Cuanto mayor sea el asentamiento que acomodar dentro de una distancia determinada, mayor será el daño estructural que se puede anticipar.		
<u>Fuente:</u> FHWA (2015)		<u>ΔICA'</u> : 1 a 25

Tabla A4.47. Perforar pilotes e inyectar lechada

<u>N°</u> 43	<u>Acción de reparación:</u> Perforar pilotes e inyectar lechada	
<u>Deterioro:</u> Hundimiento	<u>Elemento afectado:</u> Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Medida de reparación para la infraestructura que actúa sobre los pilotes, para poder resistir las mayores cargas de la superestructura. Se realizan perforaciones hasta alcanzar a los pilotes, luego, en una parte de su sección transversal, se perforan y se inyectan lechado o morteros, alrededor de los pilotes, en la tierra, de modo de mejorar la capacidad portante de ellos.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 25	

Tabla A4.48. Revestimiento de cemento con polímero modificado

<u>N°</u> 44	<u>Acción de reparación:</u> Revestimiento de cemento con polímero modificado	
<u>Deterioro:</u> Pátina, mancha de óxido	<u>Elemento afectado:</u> Estribo – Cepa	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Hormigón	
<u>Descripción:</u> Se aplican sellos de cemento de polímero modificado en aquellas zonas que no están expuestas al tráfico, como lo son muros, cepas, estribos, etc. Luego de limpiar y preparar la superficie de hormigón, se aplica una capa de cemento de polímero modificado e inmediatamente se colocan los agregados.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)	<u>ΔICA':</u> 1 a 28	

Tabla A4.49. Reemplazo de pernos o remaches defectuosos

<u>N°.</u> 45	<u>Acción de reparación:</u> Reemplazo de pernos o remaches defectuosos	
<u>Deterioro:</u> Pérdida de pieza		<u>Elemento afectado:</u> Viga
<u>Tipo de operación:</u> Reparación		<u>Material:</u> Acero
<u>Descripción:</u> Las uniones más importantes en el acero son la que implican soldadura, pernos o remaches. Las uniones si están dañadas pueden repararse o sustituirse, según sea el daño en que se encuentren. En el caso de pernos y remaches, cuando presentan problemas es mejor cambiarlos para que la unión mantenga su resistencia y no presente problemas.		
<u>Fuente:</u> Winkler (2011)		<u>ΔICA':</u> 1 a 14

Tabla A4.50. Refuerzo con fibra de resina plástica

<u>N°.</u> 46	<u>Acción de reparación:</u> Refuerzo con fibra de resina plástica	
<u>Deterioro:</u> Pérdida de tratamiento protector		<u>Elemento afectado:</u> Pavimento
<u>Tipo de operación:</u> Refuerzo		<u>Material:</u> Hormigón
<u>Descripción:</u> En caso de grietas y fisuramiento crítico en la losa, se utilizan planchas de fibra de resina plástica (FRP) en la sección de la losa que está sometida a esfuerzo de tracción. Su uso se debe a su flexibilidad, más adaptabilidad a la losa y más livianas.		
<u>Fuente:</u> Malgarejo (2009)		<u>ΔICA':</u> 1 a 16

Tabla A4.51. Reemplazo de pernos o remaches defectuosos

<u>N°.</u> 47	<u>Acción de reparación:</u> Reemplazo de pernos o remaches defectuosos	
<u>Deterioro:</u> Piezas sueltas	<u>Elemento afectado:</u> Viga	
<u>Tipo de operación:</u> Reparación	<u>Material:</u> Acero	
<u>Descripción:</u> Las uniones más importantes en el acero son la que implican soldadura, pernos o remaches. Las uniones si están dañadas pueden repararse o sustituirse, según sea el daño en que se encuentren. En el caso de pernos y remaches, cuando presentan problemas es mejor cambiarlos para que la unión mantenga su resistencia y no presente problemas.		
<u>Fuente:</u> Winkler (2011)	<u>ΔICA':</u> 1 a 25	

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA
RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Civil
Carrera : Ingeniería Civil
Nombre del memorista : Franco Ignacio Sanhueza Sanhueza
Título de la memoria : Elaboración de catálogo de reparaciones para puentes de estructuración convencional tipo viga
Fecha de la presentación oral :

Profesor(es) Guía : Dr. Tomás Echaveguren
Profesor(es) Revisor(es) : Dr. Luis Merino
Concepto :
Calificación :

Resumen

La memoria de título se enfoca en desarrollar un catálogo de reparaciones para puentes convencionales tipo viga, que incluye parámetros esenciales para la planificación de acciones correctivas. Inicialmente, se definen los elementos del puente, distinguiendo entre resistentes y no resistentes. Se utiliza un índice de calificación, el ICA', que cuantifica el estado del puente con valores de 0 a 100; a menor valor, peor la condición. El ICA' es un proceso iterativo que simula la reparación de un deterioro, proporcionando una nueva calificación que revela la variación en su condición.

Se concluye con la creación de un catálogo de reparaciones, detallando acciones, operaciones, materialidad, elementos afectados y la variación en el ICA'. Este catálogo se convierte en una herramienta esencial para decisiones informadas sobre el mantenimiento de puentes, facilitando la gestión de su estado estructural.