

2018

# PRIORIZACIÓN DE PUENTES DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO BASADO EN INSPECCIÓN VISUAL

DÍAZ VALLEJOS, NICOL JAVIERA

---

<https://hdl.handle.net/11673/47820>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO – CHILE



# **PRIORIZACIÓN DE PUENTES DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO BASADO EN INSPECCIÓN VISUAL**

**NICOL JAVIERA DÍAZ VALLEJOS**

Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía

Ramiro Bazáez

Diciembre de 2018

---

## AGRADECIMIENTO

Al terminar esta etapa importante de mi formación quiero agradecer a mi familia por el apoyo incondicional que siempre me han dado, en especial a mi mamá mi abuela que ya no esta con nosotros y mi abuelo por darme educación, las personas que han sido mis pilares fundamenales a lo largo de este viaje y me han dado lo necesario para poder concluir con éxito mi carrera.

Un especial agradecimiento a mi pololo Nicolas por siempre tener fe por mi cuando yo no la tuve, y hacerme saber que a pesar de los obstáculos se puede llegar a la meta, siempre viendo el lado positivo de las cosas. También agradezco a todos mis amigos y compañeros que alguna vez comparti dentro y fuera de las salas de clases ellos fueron parte de este viaje, por toda la experiencia compartida en estos todos mis años de universidad, por darme alegrías, risas y también apoyo en los momentos en que pensé que no seria capas de sacar adelante mi carrera, a cada uno les digo gracias por creer en mi cuando ni yo misma creí en mi.

---

## RESUMEN

Hoy en Chile existe un manual específico de inspección de puentes (Dirección de Vialidad, 2017) que presenta una falencia fundamental, ésta es el libre albedrío en la toma de datos in situ, con una pauta basada solo en información genérica de la estructura en cuestión, sin ningún detalle ni clasificación de los daños existentes en terreno, y que sólo se basa en el criterio del especialista que realiza la inspección.

Actualmente el MOP posee una lista con aquellos puentes que requieren un estudio más en profundidad de su estado. Basado en esta lista es necesario comenzar un catastro oficial de puentes existentes en Chile, tomando información de sus características principales como lo son: dimensiones, ubicación, materiales entre otros, y conjuntamente realizar un diagnóstico básico y detallado de los daños existentes. Debido a esto surge la necesidad de generar un sistema de Gestión de Puentes, procesos de manejo de información y toma de decisiones, bajo restricción presupuestaria, para la conservación de estas estructuras.

Esta investigación se centró en realizar una priorización de puentes mediante un índice llamado IBI que pondera el efecto del estado de deterioro de la estructura, su relación con el cauce hidráulico, el riesgo sísmico latente sobre la estructura y su importancia en la red vial. Su aplicación en los puentes de la red vial permite detectar las necesidades más urgentes de intervención basados en un análisis global de su estado, ambiente y funcionalidad.

Para poder determinar el Índice de cada Puente, se realizó una inspección visual de cada una de las estructuras. Posteriormente se desarrolló el índice final identificando si existe alguna correlación entre el índice y la materialidad de los puentes.

*Palabras Claves: Sistema de Gestión de Puentes, priorización de puentes, Índice Integrado de Puentes, Importancia estratégica, Riesgo sísmico, Riesgo hidráulico.*

---

# CONTENIDO

CAPITULO 1 .....	1
1 INTRODUCCION .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Objetivo Principal .....	1
1.3 Objetivos específicos.....	1
1.4 Zona de ubicación .....	2
1.5 Metodología de trabajo.....	3
1.6 Capítulos .....	3
CAPÍTULO 2 .....	4
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Partes de un puente.....	4
2.1.1 Superestructura.....	5
2.1.2 Infraestructura o Subestructura .....	5
2.1.3 Los accesos y defensas .....	8
2.2 Tipos de puentes.....	8
2.2.1 Funcionalidad.....	8
2.2.2 Materialidad .....	9
2.2.3 Estructuración.....	9
2.3 Programas de Inspección de Diferentes Países .....	10
2.3.1 Estados Unidos.....	10
2.3.2 España .....	12
2.3.3 Colombia .....	12
2.3.4 Chile .....	13
2.4 Sistema de Gestión de Puentes.....	16
2.4.1 Inventario .....	17
2.4.2 Inspección.....	17
2.4.3 Condición actual.....	19
2.4.4 Hormigón .....	20
2.4.5 Acero.....	21
2.4.6 Costos y Opciones.....	22
2.5 Estado del Arte en la Priorización de Puentes.....	22
2.5.1 Índice Integrado para la Priorización de Puentes (Valenzuela, Solminihac, & Echaveguren, 2010).....	22

---

2.5.2	Propuesta de una metodología para la evaluación de las condiciones de puentes (Rashidi & Gibson, 2011).....	25
2.5.3	Priorización de puentes viales utilizando (MCDM) Toma de Decisiones Multi-Criterios (Majid & Yousefi, 2012).....	29
2.5.4	Evaluación de condiciones y clasificación de prioridad de puentes (Rashidi, Samali, & Sharafi, 2016).....	32
CAPÍTULO 3 .....		39
3	DESARROLLO DE UNA GUÍA DE INSPECCIÓN VISUAL .....	39
3.1	Metodología de inspección.....	39
3.2	Informe de daños .....	39
3.3	Elección del método .....	40
3.4	Pauta de Inspección.....	41
CAPÍTULO 4 .....		53
4	IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN DE PUENTES ....	53
4.1	Elección del método de priorización .....	53
4.1.1	(Valenzuela, Solminihaç, & Echaveguren, Proposal of an Integrated Index for Prioritization of Bridge Maintenance, 2010).....	53
4.2	Puentes seleccionados para el análisis.....	53
4.3	Itinerario a seguir .....	55
4.4	Descripción general del método de priorización .....	57
4.4.1	Importancia estratégica .....	57
4.4.2	Riesgo hidráulico del puente (HV).....	59
4.4.3	Riesgo sísmico del puente (SR).....	60
4.4.4	Condición del puente (BCI) .....	60
4.5	Cálculo del IBI .....	61
4.5.1	Puente Lo Boco .....	62
CAPITULO 5 .....		68
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO .....	68
5.1	Resultados de la Priorización .....	68
5.1.1	IBI (Índice Integrado de Puente).....	69
5.1.2	SI (Importancia Estratégica).....	70
5.2	Distribución por Tipo de Elemento .....	71
5.2.1	Pavimento.....	73
5.2.2	Viga.....	75
5.2.3	Baranda.....	77
5.2.4	Estribo .....	79

---

5.3	Inventario .....	81
5.3.1	Ubicación .....	82
5.3.2	Tipo de estructura.....	85
5.3.3	Longitud .....	85
5.3.4	Ancho .....	87
5.3.5	Número de vanos.....	88
5.3.6	Número de vigas.....	89
CAPÍTULO 6:.....		90
6	CONCLUSIONES .....	90
6.1	Conclusión.....	90
6.2	Recomendaciones.....	91
7	Referencias.....	92
8	Anexo A .....	94

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Mapa de la Región de Valparaíso. Fuente: Google .....	2
Figura 2-1 Elementos principales de un puente Fuente: Manual de Carreteras 2017, Volumen N°3. 4	
Figura 2-2 Vista transversal de un puente Fuente Manual de Carreteras 2017, Volumen N°3.....	5
Figura 2-3 Tipos de estribos según el Manual de Carreteras .....	6
Figura 2-4 Tipos de cepas según el Manual de Carreteras .....	7
Figura 2-5 revestimiento con gaviones .....	8
Figura 2-6 revestimiento con enrocado .....	8
Figura 2-7 Tipos de Puentes de acuerdo a su Funcionalidad. Fuente: Google.....	8
Figura 2-8 Tipos de Puentes de acuerdo a su Materialidad. Fuente: Google .....	9
Figura 2-9 Tipos de Puentes de acuerdo al tipo de Estructuración. Fuente Google.....	9
Figura 2-10 Ficha de registro 1. Fuente: Manual de Carreteras 2017 .....	14
Figura 2-11 Ficha de registro.2 -Fuente: Manual de Carreteras 2017.....	14
Figura 2-12 Relaciones causa-efecto entre las acciones y los mecanismos de deterioro. Fuente (AIPCR.....	20
Figura 2-13 Factores causales .....	27
Figura 2-14 Marco de referencia conceptual.....	33
Figura 2-15 Parámetros involucrados en el proceso de clasificación.....	37
Figura 3-1 Marco de referencia conceptual tomado para el análisis .....	41
Figura 3-2 Tipos de juntas en puentes.....	43
Figura 4-1 Mapa Con los puentes inspeccionados. Fuente: Google Maps.....	57
Figura 4-2 Vista general puente Boco .....	62
Figura 4-3 Baranda de acero .....	65
Figura 4-4 Decoloración línea en la vía .....	65
Figura 4-5 Junta de expansión rota .....	65
Figura 4-6 apoyos fijos.....	65
Figura 5-1 División zona sísmica en zona de estudio .....	83

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Factor de significación estructural Si.....	26
Tabla 2-2 comparación por pares del nivel de importancia de los factores causales (FC).....	28
Tabla 2-3 Índice de condición estructural general en base al índice de salud estructural.....	29
Tabla 2-4 Coeficiente de sitio .....	30
Tabla 2-5 Clasificación de importancia.....	31
Tabla 2-6 Matriz de decisión y peso de los criterios.....	31
Tabla 2-7 Factor de clasificación de funcionalidad.....	35
Tabla 3-1 Superficie de rodado de asfalto.....	43
Tabla 3-2 Superficie de rodado de hormigón.....	44
Tabla 3-3 Viga principal de acero.....	45
Tabla 3-4 Viga principal de hormigón.....	45
Tabla 3-5 Baranda de acero.....	46
Tabla 3-6 Baranda de Hormigón.....	46
Tabla 3-7 Estribos de acero.....	47
Tabla 3-8 Estribo de hormigón.....	47
Tabla 3-9 Arcos de acero.....	48
Tabla 3-10 Arcos de acero.....	48
Tabla 3-11 Iluminación.....	48
Tabla 3-12 Señalización.....	49
Tabla 3-13 Pilares.....	49
Tabla 3-14 Junta de expansión.....	50
Tabla 3-15 Drenaje.....	50
Tabla 3-16 Apoyos.....	51
Tabla 3-17 Vías.....	51
Tabla 4-1 Puentes a lo largo de Chile.....	53
Tabla 4-2 Puentes en análisis.....	54
Tabla 4-3 Planificación de inspección.....	55
Tabla 4-4 Índice de rutas alternativas.....	58
Tabla 4-5 Tráfico medio diario anual.....	58
Tabla 4-6 Nivel del puente según zona y actividad económica.....	58
Tabla 4-7 Factor de ancho del puente.....	59
Tabla 4-8 Factor de largo del puente.....	59
Tabla 4-9 Factor de restricción de carga.....	59
Tabla 4-10 Factor de riesgo hidráulico.....	60
Tabla 4-11 Factor de riesgo sísmico.....	60
Tabla 4-12 Peso del elemento i respecto de la estructura completa.....	61
Tabla 4-13 factor de material del elemento.....	61
Tabla 4-14 Resumen de cada parámetro para el cálculo de IBI.....	66
Tabla 5-1 Índice integrado para la priorización de puentes.....	68

---

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Índice IBI por rangos .....	69
Gráfico 2 Box plot de índice IBI.....	70
Gráfico 3 Índice SI por rangos .....	71
Gráfico 4 Índice IBI de datos con SI significativo.....	71
Gráfico 5 Relación ECI / IBI versus elementos del puente.....	73
Gráfico 6 puentes por tipo de pavimento .....	73
Gráfico 7 índice IBI con pavimento de asfalto.....	74
Gráfico 8 índice IBI con pavimento de hormigón.....	74
Gráfico 9 Índice IBI comparación ambos tipos de pavimento .....	75
Gráfico 10 puentes por tipo de viga .....	75
Gráfico 11 índice IBI con vigas de acero.....	76
Gráfico 12 índice IBI con vigas de hormigón .....	76
Gráfico 13 Índice IBI comparación ambos tipos de viga .....	77
Gráfico 14 Distribución del material usado en barandas .....	77
Gráfico 15 índice IBI con barandas de acero .....	78
Gráfico 16 índice IBI con barandas de hormigón .....	78
Gráfico 17 índice IBI con barandas de acero y hormigón.....	79
Gráfico 18 Índice IBI comparación tipos de baranda.....	79
Gráfico 19 puentes por tipo de estribo .....	80
Gráfico 20 índice IBI con estribos de hormigón .....	80
Gráfico 21 índice IBI con estribos de acero.....	81
Gráfico 22 Índice IBI comparación ambos tipos de estribo .....	81
Gráfico 23 Puentes según zona sísmica .....	82
Gráfico 24 índice IBI zona sísmica 3 .....	84
Gráfico 25 índice IBI zona sísmica 2 .....	84
Gráfico 26 Índice IBI comparación ambas zonas sísmicas .....	85
Gráfico 27 puentes según tipo de estructura .....	85
Gráfico 28 puentes según longitud.....	86
Gráfico 29 índice IBI puentes mayor longitud.....	86
Gráfico 30 índice IBI puentes menor longitud.....	87
Gráfico 31 Índice IBI comparación por longitud .....	87
Gráfico 32 puentes según ancho.....	88
Gráfico 33 puentes según número de vanos.....	88
Gráfico 34 puentes según número de vigas.....	89

---

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### 1.1 Planteamiento del problema

Hoy en Chile existe un manual específico de inspección de puentes (Ministerio de Obras Publicas, 2017) que presenta una falencia fundamental, el libre albedrío en la toma de datos in situ, con una pauta basada solo en información genérica de la estructura en cuestión, sin ningún detalle ni clasificación de los daños existentes en terreno, y que sólo se basa en el criterio del especialista que realiza la inspección de la estructura.

El problema yace en la subjetividad de la inspección, que deriva en la imposibilidad de comparar, distinguir y priorizar los análisis realizados, incluso aquellos ejecutados por el mismo inspector. Países como España (Carreteras, 2012) y Estados Unidos (USDOT, 2012) han mejorado esta falencia adhiriendo a sus guías de inspección un registro de los daños y deterioros que han ocurrido con el paso del tiempo, y de esta manera realizar una correcta evaluación del estado estructural de los puentes.

Actualmente, el MOP posee una lista con aquellos puentes que requieren un estudio en profundidad de su estado. De esta forma, basándose en esta lista es necesario generar un catastro de puentes existentes en Chile, que contenga información de sus características principales, tales como, dimensiones, ubicación, materiales, entre otros; y conjuntamente realizar un diagnóstico básico y detallado de los daños existentes.

### 1.2 Objetivo Principal

El objetivo principal de esta memoria es realizar la priorización de un grupo representativo de puentes de la Región de Valparaíso mediante inspecciones visuales en terreno, con el fin de ordenarlos de tal manera que las autoridades puedan definir necesidades de reparación y mantenimiento. Cada puente considerado en el estudio se evalúa a través de un índice de priorización que medirá en qué estado se encuentra el puente con respecto a otros de la misma región, tomando en cuenta su condición actual además de su importancia dentro de la red vial. Si el índice toma un valor bajo los estándares correspondientes, es necesario realizar una inspección más detallada para definir si se requiere reconstrucción o reparación y, en caso de requerir una reparación, que tipo de reparación se adoptará.

### 1.3 Objetivos específicos

Dentro de los objetivos específicos de este estudio se encuentran:

- Generar una guía de inspección en base a programas de países como España, Estados Unidos y Colombia.
- Registrar información de todos los elementos que conforman cada uno de los puentes a través de inspecciones visuales en terreno.

- Evaluar las deficiencias observadas en terreno, teniendo en cuenta niveles de daño asignados a cada elemento.
- Priorizar la reparación de los puentes con la ayuda de un indicador de daño, que considere factores sísmicos, hidráulicos, de materiales, rutas alternativas, entre otros.
- Analizar y discutir los resultados de la priorización, de tal manera de encontrar una relación entre las características de cada puente y la priorización que se le asigna.

Con esta memoria se espera determinar qué factores son claves para la priorización de puentes, con la finalidad de que la designación de recursos para efectos de mantenimiento y reparación de los puentes sea lo más eficiente posible.

#### 1.4 Zona de ubicación

Es necesario analizar todos y cada uno de los puentes viales que se encuentran suscritos como puentes a cargo de la Dirección de Vialidad del MOP (Ministerio de Obras Públicas) a nivel nacional, es por esto que este estudio se enfoca en puentes ubicados en la Región de Valparaíso (ver Figura 1-1) para poder ayudar con parte de este estudio, tomando una de las regiones de Chile. Por otro lado, es importante mencionar que los puentes que forman parte de redes viales concesionadas o de puentes existentes en las zonas urbanas que estén bajo la supervisión del SERVIU (Servicio de Vivienda y Urbanización) no forman parte del estudio. Los 45 puentes en estudio se ubican en una gran extensión de la región abarcando las provincias de Los Andes, Marga Marga, Petorca, Quillota, San Antonio, San Felipe de Aconcagua y Valparaíso, recopilando la mayor cantidad de datos posibles, para un análisis de las distintas fallas.



Figura 1-1 Mapa de la Región de Valparaíso. Fuente: Google

---

## 1.5 Metodología de trabajo

La metodología de trabajo consistió, en primer lugar, en el desarrollo de una pauta de inspección para la toma de datos en terreno. Para aquello, se tomaron en cuenta los elementos más importantes de los puentes y se propuso una escala que permita cuantificar el daño observado. La escala de daño definida se basó en la información encontrada en programas de inspección de países como España, Estados Unidos y Colombia. Una vez que se tuvo la información de cada puente, ésta se ordenó, digitalizó y se procedió a realizar un estudio de priorización, en el cual se tomó como referencia la metodología propuesta por Valenzuela, S. et al (2010). Finalmente, se realizó un análisis estadístico que permite comparar y discutir en detalle los resultados obtenidos de la priorización de los puentes en estudio.

## 1.6 Capítulos

Este trabajo está dividido en los siguientes capítulos:

- Capítulo 2: En este capítulo, se precisan las partes de un puente y su funcionalidad basada en el Manual de Carreteras, se detallan las metodologías de inspección de puentes que se realizan en diferentes países, y se realiza una revisión de la literatura en lo referido a índices de priorización de puentes.
- Capítulo 3: Sintetizando todos los índices para la priorización de puentes vistos en el capítulo anterior, se selecciona uno, tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada tipo de análisis, explicando paso a paso como se usa este índice y como se toma la información para su correcto uso.
- Capítulo 4: Se presentan los puentes seleccionados junto con la descripción específica del método de priorización, además en esta sección se muestra en detalle los resultados de las inspecciones visuales y la aplicación de la metodología de priorización.
- Capítulo 5: En este capítulo se presenta el análisis y discusión de los resultados. Los resultados son presentados a través de gráficos que permiten un correcto análisis y discusión. Adicionalmente, se realiza una comparación entre los puentes estudiados en base al índice de priorización utilizado. Además, se estudia la influencia de distintos parámetros, ejemplo la materialidad del puente, con respecto a las distintas fallas detectadas.
- Capítulo 6: En este capítulo, se presentan las conclusiones del estudio. Además, se presentan recomendaciones para futuros estudios, de manera de perfeccionar lo realizado en este estudio.

# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

Dentro del país existe una gran red vial, la cual ayuda a unir las diferentes localidades nacionales. Esta red está conformada por caminos, túneles y puentes, con estos elementos se tiene una infraestructura de conectividad estratégica, pudiendo atravesar accidentes geográficos por medio de túneles y puentes. Estos últimos son el foco de estudio en este informe, ya que dan accesibilidad a las personas por una vía estable, segura para los peatones, con iluminación del entorno, seguridad vial y debidamente definida. Es por esto, que para lograr los objetivos de esta memoria es imprescindible identificar las partes que componen un puente y los tipos de puentes que existen a nivel nacional para tener las herramientas necesarias que permitan identificar las distintas fallencias que presentan cada uno de los puentes. Además, es necesario contar con marcos de referencia internacional en el tema de priorización de puentes, y de esta manera tener una base de comparación frente a lo que se quiere lograr en este estudio.

### 2.1 Partes de un puente

En la Figura 2-1, se ilustran los principales elementos que conforman un puente, en donde se distinguen las dos partes más importantes, las cuales son la superestructura y la subestructura. La funcionalidad de cada una de las partes de un puente se presenta en mayor detalle a continuación (Ministerio de Obras Publicas, 2017):

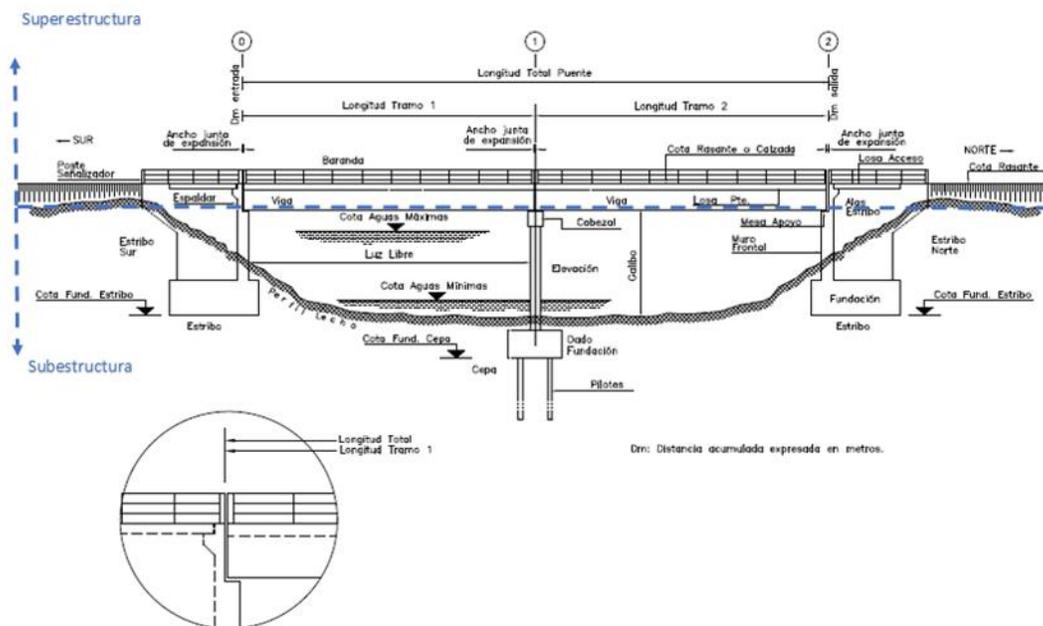


Figura 2-1 Elementos principales de un puente Fuente: Manual de Carreteras 2017, Volumen N°3

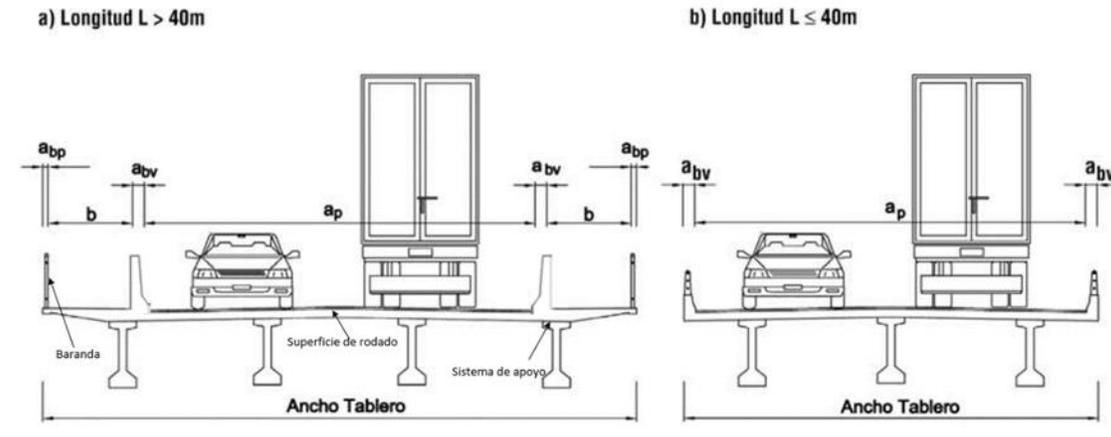


Figura 2-2 Vista transversal de un puente Fuente Manual de Carreteras 2017, Volumen N°3

### 2.1.1 Superestructura

La superestructura, según el Manual de Carreteras, es aquella parte del puente que permite la continuidad del camino con su calzada y bermas. La función principal de la superestructura es resistir el paso de cargas móviles (vehículos, camiones, etc), y transmitir las a la infraestructura a través de los sistemas de apoyo. La superestructura puede estar conformada por uno o más tramos dependiendo de la cantidad de apoyos que la sustenten. Entre los componentes que conforman la superestructura se encuentran:

- Tablero: Está compuesto por la superficie de rodadura, los pasillos o aceras y las barandas. Los pasillos o aceras se proveen en aquellos casos donde el tránsito de peatones lo amerita. Como se aprecia en la Figura 2-2.
  - Sistema estructural del tablero: es el sistema encargado de proporcionar capacidad de soporte de carga al tablero
  - Sistema de vigas del tablero: está constituido por vigas longitudinales y transversales las que permiten la transmisión de las cargas que actúan sobre la superestructura hacia la infraestructura, y luego a través de ella hacia el suelo de fundación.
- Superficie de rodadura: Parte de la sección transversal de losa que resiste el uso del tráfico.
- Sistemas de apoyos: Sistema que se encuentra entre la superestructura y la infraestructura. Para evitar los desplazamientos verticales de la superestructura, se contempla el uso de sistemas de anclaje antisísmicos entre la superestructura y la infraestructura. En Chile los principales sistemas de apoyo son las placas elastoméricas, ya sean de caucho, neopreno u otro material.

### 2.1.2 Infraestructura o Subestructura

La infraestructura, también referida como subestructura, es aquella parte del puente donde se apoya la superestructura. La función principal de la infraestructura es transmitir las cargas generadas en la superestructura al terreno de fundación. La infraestructura está constituida por los estribos y las cepas o pilas.

- Estribos: Los estribos constan de dos partes. La primera elevación del estribo está conformada por un muro frontal, la mesa de apoyo, el muro espaldar y las alas. La segunda es la fundación

del estribo, la cual traspassa las cargas al terreno. En las siguientes figuras se muestran los tipos de estribos según el Manual de Carreteras, Volumen N°3 (2017):

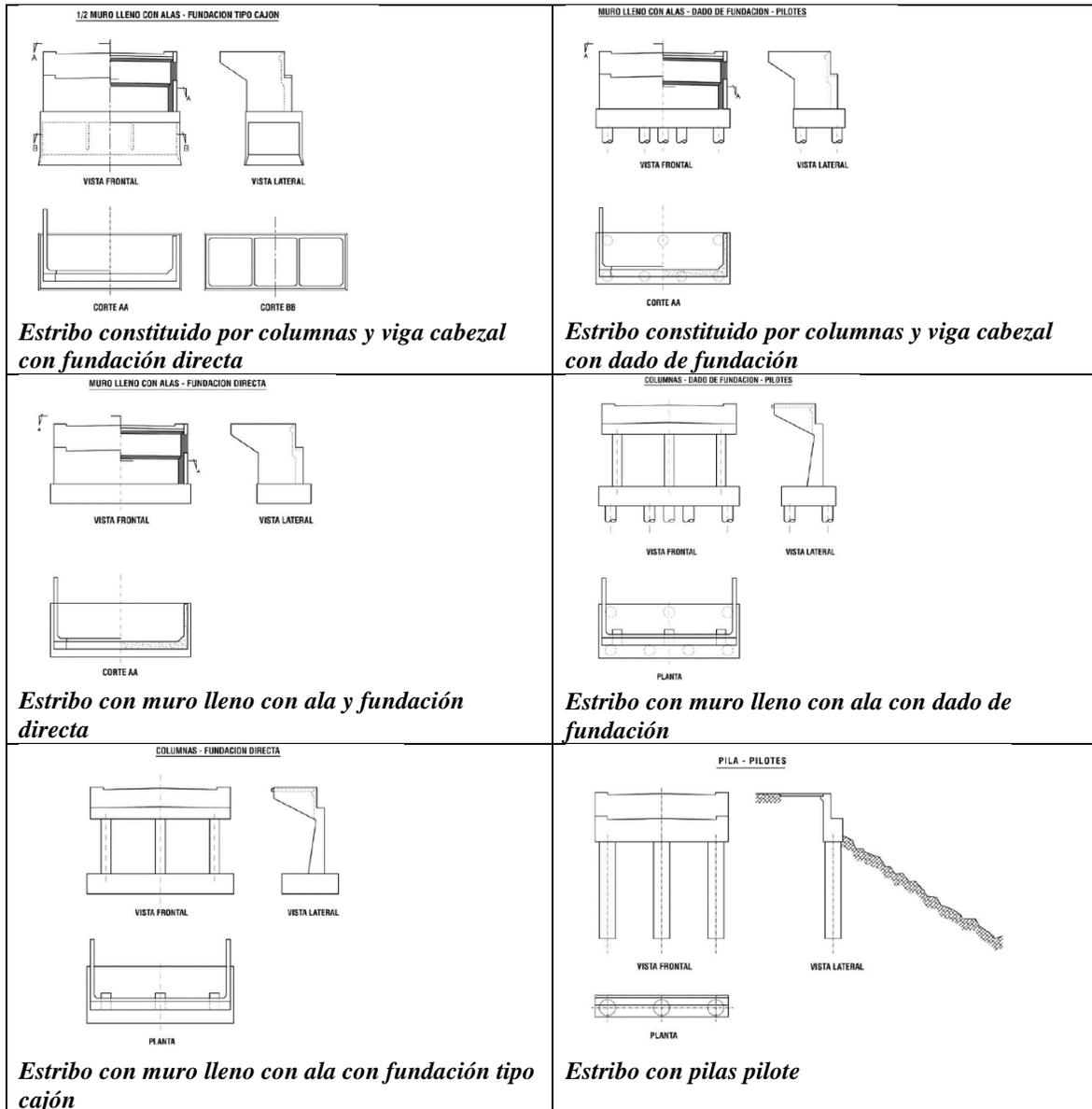


Figura 2-3 Tipos de estribos según el Manual de Carreteras

- Pilas o Cepas: Son los apoyos intermedios de los puentes y al igual que los estribos, están constituidos por la elevación y la fundación. En las figuras siguientes se pueden ver algunos tipos de cepas:

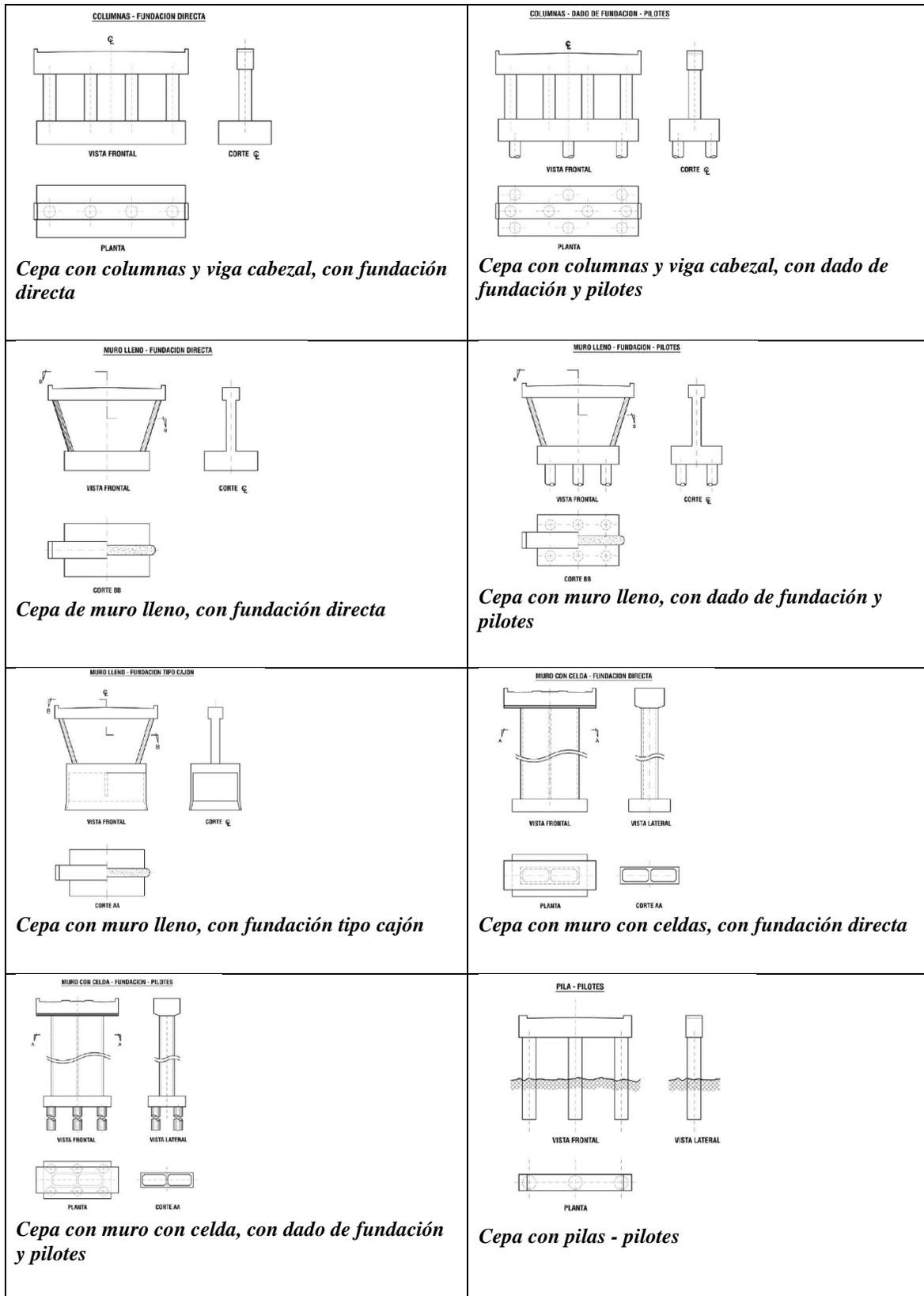


Figura 2-4 Tipos de cepas según el Manual de Carreteras

### 2.1.3 Los accesos y defensas

Están constituidos, en general, por terraplenes de acceso, estructura de pavimento, bases, bermas y losas de acceso. Las obras de defensa de un puente comprenden las enrocados, gaviones, bajadas de agua en los terraplenes de acceso, y elementos de contención de tierras, tales como muros de contención, pilotes contenedores, muros jaula entre otros.

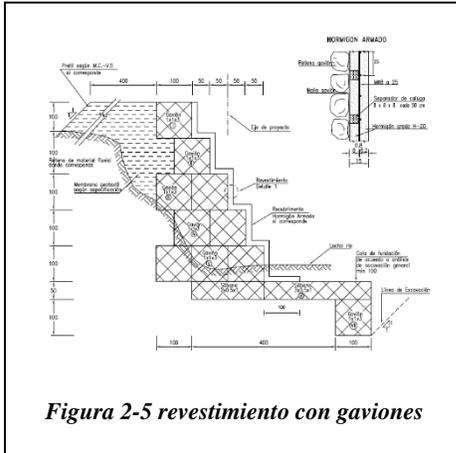


Figura 2-5 revestimiento con gaviones

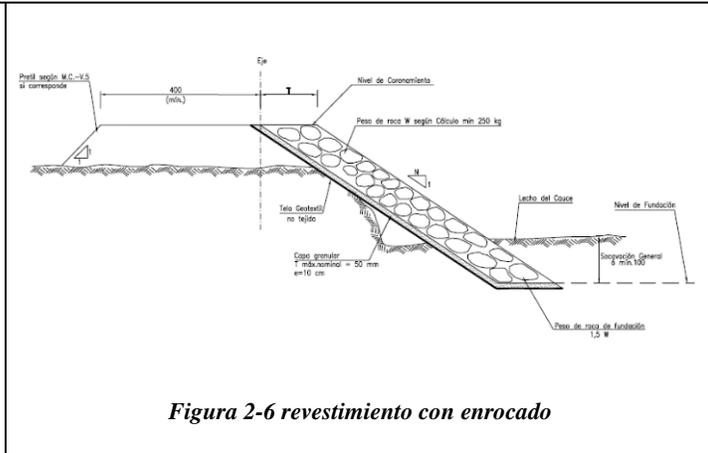


Figura 2-6 revestimiento con enrocado

## 2.2 Tipos de puentes

La clasificación de puentes puede efectuarse de acuerdo a su funcionalidad, al material principal que lo compone o a la estructura resistente que forman sus elementos primarios.

### 2.2.1 Funcionalidad

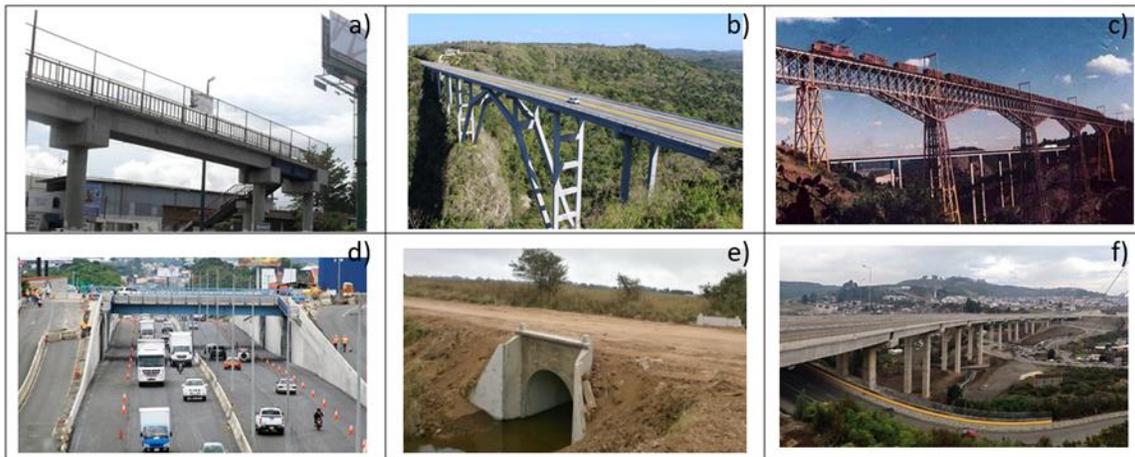
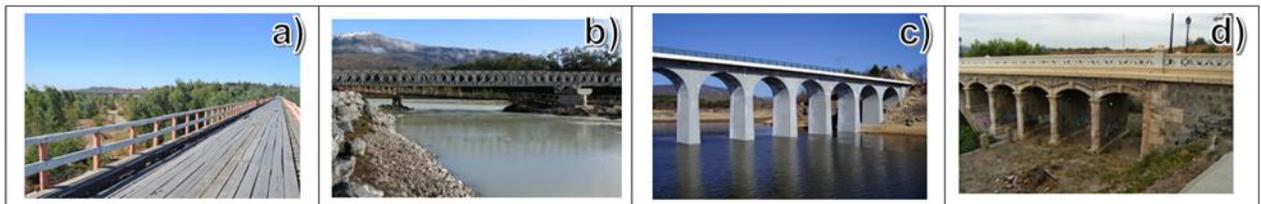


Figura 2-7 Tipos de Puentes de acuerdo a su Funcionalidad. Fuente: Google

- a. Puentes peatonales (pasarelas): permite el paso de peatones para sortear ríos, canales o vías de tránsito.
- b. Puentes carreteros o viales: permite el paso a los vehículos por sobre algún accidente geográfico como río o abismo.
- c. Puentes ferroviarios: permite que las líneas férreas tengan continuidad sobre algún accidente geográfico.
- d. Pasos a desnivel: es un cruce a diferentes alturas donde su objetivo es no interrumpir el tránsito de ninguna de las rutas que se cruzan.
- e. Alcantarillas: está diseñado para evacuar las aguas residuales domésticas, forma parte del sistema de saneamiento urbano.
- f. Viaducto: Es una obra desarrollada a través de la ingeniería que permite atravesar toda la superficie de un valle, al igual que un puente puede ser carretero o ferroviario.

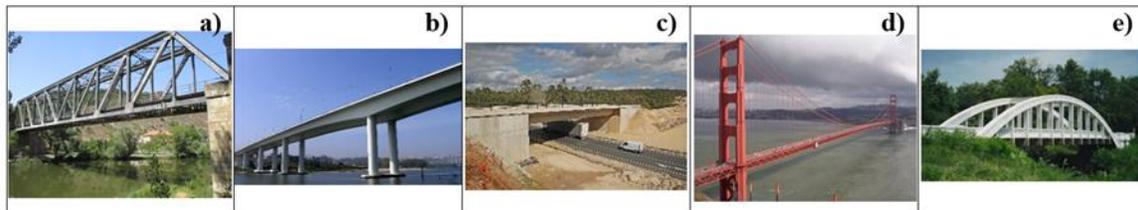
### 2.2.2 Materialidad



*Figura 2-8 Tipos de Puentes de acuerdo a su Materialidad. Fuente: Google*

- a. Puentes de madera.
- b. Puentes de acero.
- c. Puentes de hormigón, ya sea armado, pretensado o postensado.
- d. Puentes de albañilería.

### 2.2.3 Estructuración



*Figura 2-9 Tipos de Puentes de acuerdo al tipo de Estructuración. Fuente Google*

- 
- a. Puentes reticulados: están compuestos por uniones articuladas, en la que sus elementos estructurales están sometidos principalmente a fuerzas axiales. Este tipo de puentes, generalmente, son de madera o acero.
  - b. Puentes de vigas: como su nombre lo indica, estos puentes están conformados principalmente por vigas longitudinales, las cuales pueden ser tipo I, cajón, o de alma llena.
  - c. Puentes de losa: este requiere más acero y más hormigón que otro tipo de puentes dado que la losa se encuentra sobre dos o más apoyos sin formar una sección con ellos.
  - d. Puentes suspendidos (colgantes o atirantados): su tablero está suspendido entre uno o varios pilones centrales, los puentes colgantes trabajan solo a tracción en cambio los atirantados pueden trabajar a tracción y a compresión.
  - e. Puentes en arco: este tiene apoyos en los dos extremos de la luz entre los cuales existe una estructura en forma de arco para transmitir las cargas. Si la distancia entre apoyos es muy grande, es posible la existencia de más de un arco.

### 2.3 Programas de Inspección de Diferentes Países

Muchos países cuentan con una metodología de inspección de puentes. Con este sistema es posible organizar la información de cada uno de los puentes de manera óptima, ya sean datos principales como nombre, lugar de ubicación, ruta a la que pertenece, entre otros. Así mismo, este sistema propone una metodología de inspección, es decir, una pauta informativa indicando paso a paso, cuáles son los elementos a analizar y qué es lo que se debe registrar para así, en la siguiente inspección se tenga una base de comparación del estado de la estructura a lo largo del tiempo, indicando entre otras cosas si han existido reparaciones o no.

En este estudio se toma como base tres guías de inspección visual de puentes, pertenecientes a Estados Unidos, España y Colombia. En estos países al día de hoy existe una guía de inspección de puentes ya normalizada, con la cual el Departamento de Transporte correspondiente puede tener una base de datos de los puentes existentes en la red vial y también de su estado estructural en el tiempo. Se seleccionaron las guías de inspección de estos tres países por distintas razones, las cuales se mencionan más adelante.

De estas guías de inspección se tomó información relevante de cómo realizar una correcta inspección, cuáles son los principales elementos a analizar, y finalmente cuál es la escala de medición para cada uno de los daños encontrados en la estructura.

#### 2.3.1 Estados Unidos

En el manual Bridge Inspector's Reference Manual (USDOT, 2012) de Estados Unidos se presenta en detalle cuales son las partes que debe tener el informe de inspección de puentes. Este informe cuenta con 6 secciones; (1) Inventario de Estructuras, (2) Condición y Evaluación, (3) Introducción a la Evaluación de los Elementos, (4) Mantenimiento de Registros y Documentación, (5) Conclusiones Críticas e (6) Informe de Inspección.

Ciertamente, para la realización de este informe se requiere de personal capacitado para las inspecciones, así como también implementación avanzada en los casos de inspección detallada. Por ejemplo, en el caso de socavación, se requieren buzos especializados para la revisión de la subestructura bajo el agua, entre otros.

---

Las inspecciones se diferencian por tipo de material del puente, es decir:

- Inspección de puentes de madera
- Inspección de puentes de hormigón
- Inspección de puentes de acero

Para cada material se describe el método con un examen visual, examen físico y el método avanzado de inspección.

#### *2.3.1.1 Examen visual*

Hay dos tipos de inspecciones visuales que pueden requerirse de un inspector. La primera, llamada inspección de rutina, implica revisar el informe de inspección anterior y examinar visualmente los elementos del puente.

El segundo tipo de inspección visual se llama inspección en profundidad. Una inspección en profundidad es una inspección de uno o más elementos que se encuentren sobre o debajo del nivel del agua para identificar cualquier deficiencia que no pueda detectarse fácilmente utilizando el método de rutina. Este tipo de inspección visual requiere que el inspector evalúe visualmente todas las superficies defectuosas a una distancia no mayor a la distancia de su brazo. Las superficies del puente reciben una atención visual cercana para cuantificar y calificar cualquier deficiencia. El método de inspección visual en profundidad se puede complementar con pruebas no destructivas.

#### *2.3.1.2 Examen físico*

Un martillo de inspección, por otro lado, no daña la madera y se puede usar para tocar áreas y determinar el grado de descomposición interna. Esto se hace escuchando el sonido que produce el martillo. Si suena hueco, la descomposición interna puede estar presente. Análogamente el sonido que produce el golpe del martillo se usa comúnmente para detectar áreas de delaminación y concreto defectuoso. Se debe prestar especial atención a la ubicación, longitud y ancho de las grietas encontradas durante la inspección visual y los métodos de sondeo. Para los miembros de acero, los principales métodos de inspección física implican la medición de las deficiencias identificadas visualmente. Se utiliza un martillo de inspección o un cepillo de alambre para quitar la pintura suelta o las escamas de óxido, de manera que se puedan realizar mediciones precisas de la sección restante.

#### *2.3.1.3 Método avanzado de inspección*

- Para la madera incluye los siguientes métodos: Prueba sónica, análisis espectral, prueba ultrasónica, vibración.
- Para el hormigón existen métodos no destructivos como: Métodos eléctricos, maquinaria de detección de delaminación, radar de penetración en el suelo, métodos electromagnéticos, velocidad de pulso, prueba de Impacto-Eco, prueba ultrasónica láser, disturbio de campo magnético, sonda de neutrones para la detección de cloruros, métodos nucleares, pacómetro.
- Finalmente, para el acero los métodos avanzados de inspección son: Prueba de emisiones acústicas, sensores de corrosión, recubrimientos inteligentes, tinte penetrante, partícula magnética, prueba de radiografía, tomografía computarizada, inspección robótica, prueba ultrasónica, análisis químico, prueba de resistencia a la tracción.

En Estados Unidos las inspecciones se hacen cada 2 años pero las estructuras que lo necesitan, se les realiza una inspección más detallada para determinar los niveles de gravedad en las deficiencias, tomando en cuenta que las reparaciones a realizar deben ser dentro de los 4 siguientes años. Estados

---

Unidos cuenta con una guía para inspección de puentes hace ya 50 años, además posee un registro de las condiciones de los puentes a lo largo de los años, esto hace que este manual sirva de modelo a largo plazo para Chile, con respecto a control y toma de datos sobre los puentes existentes.

En contraste con la inspección presentada en esta memoria, al no contar con los implementos necesarios para una inspección con estas características, y además con las medidas de seguridad necesarias, no es posible realizar algo equivalente, pero sí se tomarán en cuenta la toma de datos y todas las inspecciones que solo requieran de reconocimiento visual o acústico, en un lugar seguro para el inspector.

### 2.3.2 España

En España se utiliza el documento titulado: “Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado” (2012). Este documento sirve de base y ayuda a toda inspección de puentes implementado en la Dirección General de Carreteras de España. El objetivo de la guía es sistematizar la recolección de datos, tratando el puente como un conjunto de elementos e incluyendo las zonas que interactúan con el puente, tales como agua que pasa debajo del puente o suelo anexo a la superestructura. La inspección requiere una auscultación visual de la estructura para ser capaces de determinar objetivamente el estado del puente.

La metodología de inspección cuenta básicamente con ocho pasos a seguir: (1) Desarrollo de la inspección, (2) Datos generales de la inspección principal, (3) Registro de los deterioros observados en el puente, (4) Inspección del cauce, (5) Particularidades de las inspecciones subacuáticas, (6) Trabajo en gabinete, (7) Formación de inspectores, y por último (8) Control de calidad.

En el presente estudio solo se tomaron en cuenta los puntos dos y tres dado que no existe los implementos suficientes para poder realizar una inspección del cauce, subacuáticas o trabajo de gabinete.

El índice de daño utilizado en esta guía es de fácil implementación, por lo que se tomará como referencia, puesto que, para calificar la extensión del daño presente en cada puente toma solo cuatro valores, y para la gravedad y evolución del deterioro solo toma tres valores. Siendo ambas escalas bastante simples.

En esta guía se recomienda que el intervalo medio entre dos inspecciones principales sea de cinco años, pudiendo ser menor en función de la posible existencia de anomalías en inspecciones anteriores. Dichas anomalías pueden ser:

- Cimientos muy expuestos a la acción del agua
- Si se constata una evolución rápida de las condiciones hidráulicas del curso del agua.
- Si se realizan trabajos en la zona de influencia de la obra, que hacen temer una evolución desfavorable de los apoyos.

Además, la experiencia internacional avala esta periodicidad de cinco años, tomando en cuenta la velocidad en la evolución de los deterioros.

### 2.3.3 Colombia

La guía de inspección de Colombia denominada “Manual para la inspección visual de puentes y pontones” (Colombia, 2006) presenta de manera sistematizada cada uno de los elementos de un

---

puede a analizar, entre los que se encuentran: superficie del puente y accesos, juntas de expansión, andenes/bordillos, barandas, iluminación, señalización, drenajes, apoyos, consideraciones generales para el registro de daños en los elementos de concreto reforzado, aletas y estribos, pilas, losa, vigas y riostras, elementos de arco, consideraciones generales para el registro de daños de los elementos de superestructura metálica, cables, pendolones y torres, perfiles metálicos, elementos de armadura, conexiones en estructuras metálicas, acceso peatonal y otros elementos, así como también, cauce, y por último puente en general.

La finalidad de esta guía es estructurar una inspección visual y un inventario de los daños que afectan a los elementos de un puente, de tal manera que la información recopilada permita identificar el tipo, la magnitud, la severidad y la localización de los elementos afectados.

El procedimiento a seguir consta de la toma de datos generales de la estructura como nombre, ubicación, etc. Además, el procedimiento indica que se debe realizar un análisis visual de cada uno de los elementos, cuantificación de los daños existentes, registro fotográfico de los daños identificados, y registro de observaciones que deben ser reportados.

Este formato de inspección de puentes es de fácil uso y además presenta una guía de inspección visual que posibilita las mediciones en el caso en que no se tienen equipos de medición para ejecutar la inspección. Este tipo de inspección es análogo a lo presentado en este estudio, dado que presenta un análisis visual de los elementos que conforman el puente.

En cuanto a la periodicidad de las inspecciones este manual indica que una inspección de rutina debe ser cada año, mientras que una inspección principal puede ser desde uno hasta 6 años, en tanto, una inspección especial va a depender de las condiciones del puente y de la evolución de los daños.

## 2.3.4 Chile

### 2.3.4.1 Administración de Puentes Viales - Ministerio de Obras Públicas

El Manual de Carreteras Volumen N°7, titulado “Mantenimiento Vial” (Ministerio de Obras Públicas, 2017) contiene en la sección 7.204.307 una guía para la inspección de puentes. La inspección de los puentes tiene por finalidad establecer el estado de serviciabilidad y de estabilidad en que se encuentran en función del nivel de deterioro que presentan. Los objetivos principales de la inspección enunciada en la guía son detectar los daños producidos ya sea por el medio ambiente, por accidentes vehiculares, vandalismo u otro, actualizar la información básica de cada obra para mantenerla en los registros de la Dirección de Vialidad, evaluar el grado de deterioro que presenta la estructura, y establecer la prioridad de las acciones destinadas a resguardar la seguridad de la obra. Con esta información, la Dirección de Vialidad del MOP puede asignar los recursos necesarios para reparaciones y mantenimiento.

A pesar que el Manual de Carreteras establece una pauta para el registro de la información básica que servirá para la identificación de la obra (ver Figura 2-10 y Figura 2-11), no presenta una metodología clara con respecto al informe de diagnóstico solicitado, solo se menciona la necesidad de preparar uno que incluya el estado actual de la estructura, del mantenimiento del cauce, y en particular la situación actual de losas, vigas, estribos, fundaciones, apoyos, travesaño, accesos anclajes, juntas de dilatación, nivel de socavación, descensos detectados, asentamientos, deformaciones y anomalías que se puedan visualizar.

El grado de daño según el Manual de Carreteras, se determina con una nota de 1 a 5; donde 1 corresponde a un puente con peligro de colapso. Esta clasificación no presenta mayor detalle de cuáles son los parámetros para decidir si una estructura posee una nota 1 o 5. Por este motivo, es necesario generar una guía de inspección que presente con mayor detalle los daños presentes en cada elemento de la estructura y que puedan ser evaluarlos por separado, es decir, cada daño en un elemento debe presentar una nota que al ser combinadas permita obtener una calificación global que sea representativa de la condición de la estructura.

REPUBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

NOMBRE DEL PUENTE:  TIPO DE PUENTE:

EN KM:

ROLUTA / CODIGO DV:  EN EL CAUCE:

REGION:  PROV.:  COMUNA:

LONG TOTAL:  ANCHO PASILLOS:  LUZ MAYOR:  NUMERO DE VIGAS:

ANCHO TOTAL:  ANCHO DE CALZADA:  NUMERO TRAMO:  NUMERO DE CEPAS:

GALBO:  ESPESOR DE LOSA:  TIPO DE CARPETA:  ¿TIENE ESVAJAE?:

OBRA FLUVIAL:  TRANSITO (Pasajero):  GRADO DAÑO:  CAPACIDAD DEL PUENTE:

Figura 2-10 Ficha de registro 1. Fuente: Manual de Carreteras 2017

FECHA DE CONSTRUCCION:  CONSTRUCTOR:

PROYECTISTAS:

AUTOS:  CAMIONETAS:  CAMIONES SIMPLES:  CAMIONES TRAILER:  BUSES:

T.M.D.A. (Pasajero):  DEL AÑO:  HUBO CORTE EN LOS AÑOS:

MATERIALES: A • Acero, M • Madera, HA • Hormigón Armado, PC • Precastromos, LC • Ladrillo y Cemento

PISO:  VIGAS:  ESTRIBOS:  CEPAS:  FUNDACIONES:

DESCRIPCION (OBRAS):

ALTERNATIVA EXISTENTE:

PLANOS EXISTENTES:

BREVE DIAGNOSTICO DE SU ESTADO:

NOMBRE:  CARGO:  FECHA:

NOMBRE:  CARGO:  FECHA:

CORTE TRANSVERSAL:

MAPA DE UBICACION:

Figura 2-11 Ficha de registro.2 -Fuente: Manual de Carreteras 2017

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) se encuentra, desde agosto de 2016, actualizando su Sistema de Gestión de Estructuras (SGE). Proceso que se está llevando a cabo en un total de 1.034 puentes, y cuyos primeros resultados se esperan obtener en agosto de 2018.

---

Ahora bien, esta propuesta para un sistema de gestión para la conservación de puentes incluye los siguientes puntos:

- a) Inventario de obras existentes. Este punto requiere generar una base de datos con información del real estado estructural de los puentes existentes y mantenerla actualizada.
- b) Uniformar los criterios de inspección de todas las Regiones y Centros de Gestión del país: inspecciones principales o primarias.
- c) Actualizar sistemática y periódicamente la base de datos del estado de los puentes.
- d) Registrar adecuadamente la información obtenida a través de un software que permita automatizar, agilizar y ordenar el manejo de la información.
- e) Realizar una buena planificación de los programas de conservación de puentes.

Con esta propuesta se quiere mejorar la toma y clasificación de la información de puentes viales en Chile, así como también, optimizar la planificación de toda reparación y mantenimiento de los puentes administrados por la Dirección de Vialidad.

#### *2.3.4.2 Administración de Puentes Ferroviarios – Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE)*

##### ***Plan de mantenimiento de puentes en EFE***

EFE cuenta con una red ferroviaria de 2.300 kilómetros de vía. La red incluye 328 puentes con longitud total mayor a 11 metros. El mantenimiento de estos puentes encierra una importante complejidad pues los puentes de la red tienen características diversas.

En 2012 se inicia el Plan Maestro de Puentes (PMP) (Dirección de Vialidad de Chile, 2017) cuyo objetivo es actualizar la información de los puentes de la red, y generar modelos estructurales que permitan definir si requieren algún tipo de intervención.

El Plan Maestro de Puentes (PMP) se rige por dos pilares:

- a) Estrategia:
  - Visión de mediano y largo plazo
  - Foco en el negocio de EFE
  - Objetivo de uso eficiente de los recursos
- b) Implementación:
  - Definición de estándares
  - Desarrollo de marco metodológico
  - Generación del plan de mantenimiento
  - Implementación de la herramienta de gestión
  - Implementación de la unidad de puentes

---

Los tipos de inspección, mantenimiento y gestión llevada a cabo por EFE se detallan a continuación:

#### I. Tipos de Inspecciones

- Inspecciones Básicas: De menor alcance y mayor periodicidad. Permiten detección temprana de deterioros. La periodicidad depende de la evaluación que presenta el puente en la inspección básica previa
- Inspecciones Principales: Su objetivo es definir el grado de conservación de la estructura e incluyen dos tipos:
  - Inspecciones Principales Generales: donde se inspeccionan y evalúan individualmente todos los elementos del puente para determinar el estado de conservación de la estructura.
  - Inspecciones Principales Detalladas: donde junto con la inspección individual de sus elementos, es necesario desarrollar ensayos o muestreos específicos para evaluar el estado de consideración; eventualmente, requieren el empleo de medios de acceso y equipos especiales.
- Inspecciones Especiales: que se realizan en momentos puntuales para estudiar alguna particularidad de la estructura, profundizando el diagnóstico u origen de la falla. Este tipo de inspección, generalmente, se ejecuta después de una inspección principal.

#### II. Tipos de mantenimiento

- Mantenimiento preventivo: Diseñadas con el propósito de evitar la degradación de los diferentes elementos que configuran los puentes.
- Mantenimiento correctivo: Basadas en el estado de los puentes, observado a través de las sucesivas campañas de inspección y declaración de los deterioros.
- Mantenimiento predictivo: Basadas en mediciones de variables claves de un puente. La necesidad de contar con esta herramienta gatilla el monitoreo remoto de puentes.

#### III. Sistema de gestión de la información

- Permite obtener la calificación del estado de conservación de los puentes a partir de la inspección principal (IP).
- Permite conocer el estado de los puentes, sus últimas inspecciones, los hallazgos encontrados y mantenimientos realizados.
- Acceso remoto desde las estaciones de trabajo, dependiendo de los perfiles definidos.
- Toma de datos en terreno, inspecciones básicas o principales

## 2.4 Sistema de Gestión de Puentes

Un Sistema de Gestión de Puentes es una herramienta de apoyo a una agencia vial para la selección de estrategias y acciones que permitan una asignación óptima de recursos para el mantenimiento de su red de puentes, consistentemente con las políticas de la agencia y las restricciones presupuestarias existentes. En este estudio, el Ministerio de Obras Públicas es el que designa los recursos para el mantenimiento de los puentes en análisis.

Un buen sistema de gestión de puentes presenta una amplia gama de opciones para resolver un mismo problema, pasando desde medidas con interferencia mínima del puente hasta el reemplazo completo del mismo. Estas opciones dependerán del grado de daño, la priorización que se le asigne al puente y de los recursos que disponga la entidad responsable del puente.

---

En un sistema de gestión de puentes es indispensable generar una base de datos con información detallada de los puentes. Esto genera mayor información para futuros proyectos y también ayuda a controlar de mejor manera las mantenciones de las estructuras.

El Manual de Carreteras, Volumen 7 (Ministerio de Obras Publicas, 2017) presenta sistemas y metodologías para la gestión de puentes. Como se aprecia en la Figura 2-10 y en la Figura 2-11, solo existe una Pauta para el registro de datos, no así una pauta que entregue detalles de cómo registrar o discernir respecto de los distintos tipos de fallas, nivel de daño o requerimientos de mantención y/o reposición de elementos.

El detalle y cantidad de información recopilada durante una inspección varía dependiendo de los alcances de cada proyecto. Sin embargo, los módulos principales que debe tener cualquier sistema para la gestión de puentes son: Inventario, Inspección, Condición actual del puente, y por último, costos y opciones para el mantenimiento del puente. Cada uno de estos módulos es descrito brevemente a continuación:

#### 2.4.1 Inventario

El inventario es un registro que incluye cada una de las partes del puente y la cantidad de elementos que tiene además de las características de estos elementos, al mismo tiempo es necesario identificar su materialidad y algunos datos generales del puente, tales como ubicación, nombre, entre otro.

Un inventario puede tener un formato semejante a la ficha de registro establecida por el Manual de Carreteras, ciertamente si la información recopilada es mayor, se tendrá un informe más completo de las características básicas del puente en estudio, ayudando con la toma de decisiones y también con la disposición de opciones frente a la mantención de elementos.

#### 2.4.2 Inspección

La inspección comprende recopilar información acerca de los daños específicos que posee cada elemento de un puente. Una buena práctica, es sustentar la inspección con material fotográfico para una mejor comprensión del nivel de daño que se presenta en el elemento en estudio. Antes de realizar la inspección, es necesario definir la pauta o ficha que se utilizará, para así tener uniformidad en la recopilación de datos para todos los puentes.

Rashidi & Gibson (2011) propusieron considerar distintos tipos de inspecciones, las cuales se ocuparán en diferentes etapas, es decir existen inspecciones iniciales e inspecciones con objetivos específicos.

##### 2.4.2.1 Inspección del puente

La inspección de puentes es un elemento esencial de cualquier BMS (Bridge Management System), especialmente para puentes envejecidos y deteriorados, y un camino hacia la calificación de condición. La precisión de la evaluación de la condición se basa en gran medida en la calidad de la inspección. Históricamente, la inspección de puentes existentes se ha asumido como una prioridad secundaria de naturaleza semi-aleatoria. Las inspecciones generalmente se realizaban como consecuencia de advertencias recibidas de fuentes, muy a menudo, fuera del sistema vial, o como resultado de una insuficiencia evidente del puente que no le permitía cumplir con la función esperada (Branco & Brito, 2004).

---

Los métodos de inspección dependen de cada agencia o entidad responsable, ya que muchas agencias utilizan sus propias estrategias para la inspección y la calificación de la condición del puente, pero la inspección basada en elementos se considera la técnica más confiable para su evaluación.

Para reducir los costos fijos y mejorar la eficiencia, se debe planificar un sistema de inspección a nivel de red de puente y no a nivel de puente individual. El programa de inspección de rutina no se debe cambiar con frecuencia y se debe realizar en un período de tiempo fijo. La funcionalidad del sistema de gestión se basa en un plan de inspección estandarizado. Incluye un conjunto periódico de inspecciones basadas en un calendario fijo en el que se permite cierta flexibilidad para tener en cuenta una asignación global razonable de recursos de inspección complementada por inspecciones especiales cuando se detecta o sospecha algo grave (Branco & Brito, 2004). Es posible que se requiera una variedad de inspecciones en un puente durante su vida útil. Los principales tipos de inspección que se abordan en las siguientes secciones son 6.

#### *2.4.2.2 Inspección inicial (inventario)*

Las inspecciones iniciales se realizan en puentes nuevos o cuando los puentes existentes se ingresan por primera vez en la base de datos. Esta inspección proporciona una base para todas las inspecciones o modificaciones futuras de un puente. Las inspecciones de inventario brindan datos de inventario estructural y de evaluación junto con la información del elemento del puente y las condiciones estructurales de referencia. Las inspecciones de inventario usualmente comienzan en la oficina con los planos de construcción y la información de ruta, luego continúan al campo para la verificación de la condición de la construcción, se observan defectos iniciales que podrían no haber estado presentes en el momento de la construcción.

#### *2.4.2.3 Inspección de rutina*

La inspección de rutina es un método de diagnóstico con el mayor potencial y generalmente se basa en la observación visual directa de las áreas más expuestas de un puente. Se basa en evaluaciones subjetivas realizadas por los inspectores de puentes. Durante una inspección, no se espera ningún defecto estructural significativo y el trabajo recomendado se encuentra dentro del rango de mantenimiento. Se recomienda un período de quince meses entre las inspecciones de rutina para poder evaluar la influencia del clima en las condiciones generales y la degradación del puente (Andrey, 1987). Una inspección de rutina debe planificarse con anticipación para facilitar las mejores condiciones garantizadas, que pueden permitir la detección de defectos (Branco & Brito, 2004).

#### *2.4.2.4 Inspección detallada*

En este tipo de inspección se pueden realizar pruebas in situ no destructivas, fáciles, rápidas y detalladas. Además de la observación visual directa como una forma de explorar cada detalle que potencialmente puede conducir a problemas futuros. Existe la posibilidad de que se usen medios especiales de acceso si se considera indispensable. El período recomendado para una inspección detallada es de cinco años y reemplaza una inspección de rutina si los calendarios del inspector están de acuerdo (Andrey, 1987). Una visita preliminar al sitio del puente puede ser útil para evaluar las condiciones existentes. Sin embargo, si existe la necesidad de seguir la evolución de ciertos defectos con mayor frecuencia, el período entre visitas se puede reducir a un año, especialmente para las áreas locales del puente.

De acuerdo con Branco & Brito (2004) la planificación de una inspección detallada incluye un estudio cuidadoso de un expediente de puente para conocer los motivos y la evolución de los defectos detectados en las inspecciones anteriores y los puntos específicos que se evaluarán de cerca. Con base

---

en los formularios de inspección previos y una visita preliminar al sitio, se planean los posibles medios especiales de acceso necesarios. Los siguientes archivos deben ser llevados al sitio y/o preparados de antemano: una lista de todos los puntos individuales a verificar, esquemas con rejillas de referencia de los elementos más relevantes, y el último formulario de inspección periódica y el manual de inspección. De acuerdo con los resultados obtenidos, la inspección posiblemente tenga una de las siguientes consecuencias (Andrey, 1987): (1) la organización de una evaluación estructural o de mediciones de vigilancia complementarias; (2) la preparación de una lista con aspectos particulares a seguir con especial cuidado en la próxima inspección; (3) la organización del trabajo de mantenimiento necesario; (4) y el establecimiento de un plan de mantenimiento a mediano plazo.

#### *2.4.2.5 Evaluación estructural*

Una evaluación estructural es normalmente la consecuencia de la detección de una deficiencia estructural o funcional importante, durante una inspección de rutina o detallada. Esta evaluación también puede ser necesaria si se está considerando la ampliación del tablero o el fortalecimiento de la estructura. Los resultados esperados de esta inspección son: (1) la caracterización de las deficiencias estructurales, (2) la estimación de la vida útil restante mediante el uso de modelos matemáticos de degradación, y (3) la evaluación de su capacidad de carga actual. No es fácil predecir los medios necesarios porque una amplia gama de situaciones puede iniciar una evaluación estructural. Las pruebas de carga y pruebas de laboratorio estáticas y dinámicas pueden ser complementos valiosos de la información recopilada in situ. Sin embargo, deben usarse con cierta severidad, ya que, además de ser costosos, fuerzan la interrupción total del tráfico sobre el puente por períodos de tiempo inciertos (Andrey, 1987). El informe final de la evaluación estructural debe incluir (1) el índice, (2) formulario de identificación estructural, (3) dibujo esquemático del puente, (4) estructura, (5) formulario estándar de condiciones generales, (6) resumen de los resultados más significativos, (7) equipos utilizados y hojas de calibración, (8) fotos y representaciones esquemáticas de las cepas, (9) identificación y descripción de las cepas, (10) identificación y descripción de las muestras de superficie de asfalto, (11) fotos y dibujos. Todos los datos recopilados deben estar fechados y anexados al expediente del puente (OMT).

#### *2.4.2.6 Inspección especial*

Esto podría tomarse en un principio para cubrir condiciones especiales, tales como ocurrencias de terremotos, inundaciones inusuales, paso de cargas de alta intensidad, etc. Estas inspecciones deberían complementarse con pruebas y análisis estructurales. Por esa razón, el equipo de inspección debe incluir un experimentado ingeniero de diseño de puentes (Raina, 2005).

#### *2.4.2.7 Inspección subacuática*

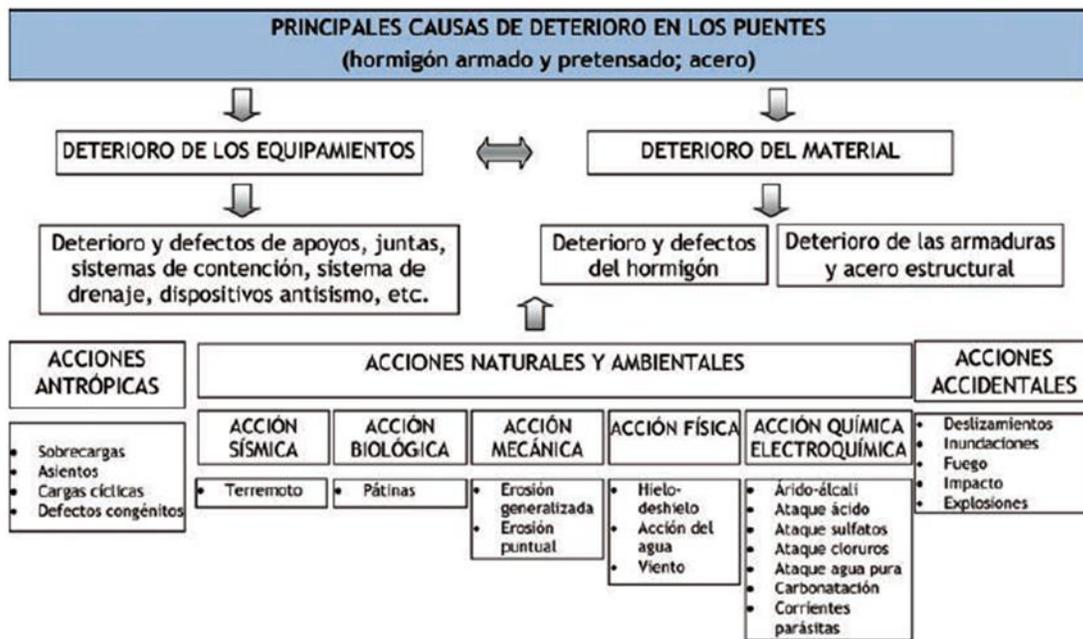
Se realiza una inspección bajo el agua en puentes con elementos estructurales parcialmente ubicados debajo del agua que no son fácilmente accesibles para inspección. En estos casos, se recomienda que el intervalo de inspección no debe exceder los sesenta meses (2006). Las inspecciones bajo el agua son realizadas por buzos experimentados. Estas inspecciones permiten evaluar la condición del material, además de documentar mediante fotografías y/o videos la condición de los elementos, según sea necesario.

### **2.4.3 Condición actual**

Una estructura está en constante contacto con el ambiente, por este motivo es inevitable su deterioro. Sin embargo, a priori no es posible estar al tanto de cuáles son los deterioros y en qué grado se

producen en cada puente. No obstante, la finalidad de toda inspección es reconocer y evaluar el grado de daño que se presenta específicamente en cada una de las partes de la estructura, a mayor detalle mejor será el nivel de inspección. Es de vital importancia que dicha inspección sea realizada por personal capacitado, que conozca ampliamente las partes del puente y que objetivamente reporte los daños encontrados.

Existen distintos mecanismos de deterioros, algunos afectan al elemento en sí independiente del material, mientras que otros están relacionados con cada material independiente del elemento. Debido a que los puentes en su mayoría están conformados por elementos de hormigón armado y acero, se presenta de manera esquemática el tipo de deterioro y las acciones que provocan estos daños.



*Figura 2-12 Relaciones causa-efecto entre las acciones y los mecanismos de deterioro. Fuente (AIPCR)*

Como se presenta en la Figura 2-12, existen tres grandes acciones que causan deterioro en los puentes: Acciones Antrópicas, Acciones Naturales y Ambientales, y Acciones Accidentales. Cada una de estas acciones puede producir distintos tipos de daños en las estructuras, ya sea en los equipamientos como en el material en sí. Es necesario ser capaz de ponerse en todos los escenarios posibles para crear una pauta de inspección a priori, que permita llevar a cabo un análisis de daños en terreno de cada uno de los elementos. Es por esto por lo que a continuación se presenta una lista de las posibles deficiencias que pueden presentar los elementos de hormigón y acero, respectivamente.

#### 2.4.4 Hormigón

- a. Pérdida de la sección del elemento, sujeto a la ampliación por el tráfico o salpicaduras profundas con barras de refuerzo expuestas, creando un peligro de seguridad para el tráfico que pasa.
- b. Viga pretensada con cables rotos o deterioro del 100% en áreas críticas de alta tensión.
- c. Vigas cajón adyacentes pretensadas no compuestas, con deterioro grave y pérdidas de cables existentes, pérdida de curvatura o fisuración por torsión.

- 
- d. Viga de hormigón armado con desprendimiento y barra de armadura principal rota o deterioro del 100%, con más de una barra afectada en la viga.
  - e. Columnas de hormigón armado con desprendimiento del recubrimiento y barras de refuerzo expuestas, causando que la columna esté sujeta a mayor deterioro.
  - f. Apoyos desplazados y vaina de pretensado expuesta.
  - g. Elementos estructurales primarios con daños por colisión que comprometen la capacidad estructural (incluyendo los tendones de pretensado cortados, el acero de refuerzo que da como resultado el agrietamiento por flexión y la curvatura de la viga negativa, los ejes de los muelles y las columnas).
  - h. Pilar de hormigón estructural que soporta un puente, con fractura o parte importante de ella con alguna falla que repercute en la capacidad portante del pilar
  - i. Hormigón que está delaminado o parcialmente desprendido y que se prevé que caiga, lo que representa un peligro para la seguridad de los automovilistas y/o peatones que pasan por debajo.
  - j. Carpeta de rodamiento que está gravemente deteriorada.
  - k. Soportes estructurales para aceras o superficies para caminar con daños o deterioro que representan una condición peligrosa para los peatones.
  - l. Elementos de la subestructura con erosión severa y socavación de la base de la subestructura, lo cual puede causar inestabilidad local o global de la estructura.

#### 2.4.5 Acero

- a. Miembros de acero con áreas deterioradas que han fallado por pandeo, o existe la posibilidad que una falla sea probable en un futuro próximo.
- b. Miembros estructurales secundarios (diafragmas, refuerzos, etc.) con pérdida de sección superior al 50%.
- c. Elementos críticos de fractura sometidos a daños por impacto, incluyendo arrugas o rasgaduras, grietas de tensión perpendicular en el metal base o en el metal de soldadura, grietas de tensión paralelas causadas por distorsiones fuera del plano o detalles de soldadura deficientes y corrosión severa en bridas (pieza que ensambla las vigas), en miembros de viga, o en placas de refuerzo.
- d. Elementos estructurales primarios con daños por colisión que comprometen la capacidad estructural
- e. Miembro estructural primario con un miembro de tensión completamente fracturado debido a fatiga o colisión vehicular.
- f. Sistemas de pernos en miembros críticos de fractura con deterioro severo o acumulación severa de restos o embalaje de herrumbre (óxido rojizo).
- g. Placas de cubierta de brida inferior con soldaduras agrietadas en el extremo de una placa de cubierta soldada de longitud parcial para una viga de acero multi-viga o de acero.

---

h. Unidades de subestructura con erosión severa y socavación de la base de la subestructura que causa inestabilidad.

#### 2.4.6 Costos y Opciones

Por último, es necesario realizar un estudio de los datos recopilados en terreno. Teniendo toda la información debidamente ordenada, se toman en cuenta todas las opciones de mantenimiento o reposición disponibles para tener el correcto funcionamiento de la estructura. Con la información de cada uno de los puentes es posible priorizarlos y determinar la urgencia del mantenimiento. Para luego financiar las reparaciones que se deben llevar a cabo.

Los costos que requieren cada una de las mantenciones toman un peso importante luego de la priorización de las estructuras evaluadas, dado que los recursos son limitados, es necesario en muchos casos realizar estudios más en detalle para determinar cuánto será el dinero requerido para realizar las reparaciones pertinentes.

En tema de costos, es difícil tener un consenso en cómo realizar de manera adecuada la transformación que implica llevar el costo asociado a los tiempos en que los usuarios son afectados a costos monetarios, por lo que dependiendo del peso que se le dé a los costos, se verá afectado el resultado de la priorización. Ciertamente, la manera en que se consideren cada una de las variables afecta la toma de decisiones. Sin embargo, se debe siempre considerar que el objetivo de una buena gestión es optimizar el uso de recursos para mantener los puentes en un nivel operacional al menor costo posible.

### 2.5 Estado del Arte en la Priorización de Puentes

El colapso parcial o total de un puente puede tener consecuencias catastróficas con un gran costo para los usuarios y la economía local. Por este motivo, se necesitan herramientas que permitan priorizar y tomar decisiones frente al mantenimiento de los puentes.

En esta sección, diversas metodologías propuestas para la priorización de puentes son presentadas.

#### 2.5.1 Índice Integrado para la Priorización de Puentes (Valenzuela, Solminihac, & Echaveguren, 2010)

Los procedimientos de inspección utilizados actualmente en Chile no permiten una cuantificación de las condiciones del puente. Por este motivo, el índice llamado Integrated Bridge Index (IBI) fue propuesto por Valenzuela y otros (2010) como una ayuda para la priorización y las decisiones tomadas en mantenimiento y rehabilitación de puentes.

La base de la investigación llevada a cabo por Valenzuela fue desarrollar una herramienta que necesitara la cantidad mínima de datos, que fuera fácil de usar y se ajustara a las características de la red vial chilena. Este índice toma cuatro factores principales, (1) la importancia estratégica (SI), (2) la condición del puente (BCI), (3) el riesgo hidráulico (HV), y (4) el riesgo sísmico (SR). Estos factores se combinan en la ecuación (1), la cual fue calibrada con un diseño factorial. El diseño factorial considera 60 escenarios, que cubren todas las condiciones posibles de los puentes chilenos.

$$IBI = -1,411 + 1,299BCI + 0,754HV + 0,458SR - 0,38SI \quad (1)$$

La fórmula (1) antes mencionada está ajustada para las necesidades viales chilenas, y su valor varía entre 1 y 10, siendo igual a 1 para un puente con inminente riesgo de derrumbe y 10 para un puente

---

en perfecto estado. Es importante examinar cada uno de los parámetros que están tomados en consideración en esta función, debido a que todo aquel puente calificado con un IBI menor a 4 requiere urgentemente la ejecución de alguna medida de reparación o reforzamiento.

#### 2.5.1.1 *Importancia Estratégica (SI)*

Este factor se estima con la siguiente fórmula:

$$SI = 0,26EA + 0,206T + 0,193SEE + 0,093W + 0,133L + 0,114R \quad (2)$$

Donde,

I. EA es el índice de rutas alternativas

Este índice tiene por objetivo medir la existencia de una ruta alternativa al puente en estudio, y puede tomar valores que van entre 1, cuando existe una alternativa muy cercana al puente con condiciones similares de ruta y tráfico, y 5, cuando no existe ninguna ruta alternativa cercana (a menos de 10 km de distancia).

II. T es el índice promedio anual de tráfico diario

Este índice representa el nivel del flujo de tránsito en la vía y puede tomar tres rangos; bajo para tránsito medio diario anual (TMDA) menor a 2000, medio entre 2000 y 3000, y alto para valores de TMDA mayores a 3000, tomando los valores de 1, 3 y 5, respectivamente.

III. SEE es el índice de entorno social y económico

Depende de la actividad económica que existe en la zona donde se emplaza el puente. Dependiendo de la región, puede tomar más importancia una actividad que sea de vital importancia para el desarrollo de la región sobre otras de menor importancia. Específicamente, en la región de Valparaíso que pertenece a la categoría zona centro de Chile, los sectores industria, vitivinícola y agricultura se le asignan valores con una alta importancia mientras que a la minería y pesca se asignan valores intermedios. A cualquier otra actividad se asigna un valor con importancia mínima.

IV. W y L son ancho y largo respectivamente

Estas medidas se toman en metros y sus índices se clasifican según las tablas de ancho y largo presentadas en el documento de Valenzuela (2010).

V. R es el índice de restricción de carga

Al comienzo de cada puente puede existir una restricción en el paso de camiones pesados, asignando un peso máximo que puedan afectar el desempeño del puente, es decir, la restricción del tránsito de camiones pesados ayuda a mantener la estructura en mejores condiciones.

#### 2.5.1.2 *Riesgo hidráulico del puente (HV)*

Este factor representa la probabilidad de que la estructura falle por temas netamente hidráulicos. Para ello, durante una inspección visual, se toma como referencia el nivel de agua que pasa debajo del puente y la cantidad de maleza u otros objetos que se encuentren en el paso del río que puedan ser potenciales objetos de obstrucción del cauce.

---

### 2.5.1.3 Riesgo sísmico del puente (SR)

Este factor depende del nivel de detalles sísmicos que presente la estructura, donde un factor igual a 5 indica nada o muy poco riesgo de colapso, debido a la presencia de elementos que ayuden a resistir la fuerza sísmica, y 1 indica un peligro inminente de daño y/o colapso, debido principalmente a falta de elementos que permitan a la estructura tener un buen comportamiento sísmico.

### 2.5.1.4 Condición del puente (BCI)

Este índice representa el nivel de daño tomando en cuenta la condición de cada uno de los elementos y calificando su daño, se determina con la siguiente ecuación:

$$BCI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i m_i ECI_i}{\sum_{i=1}^n w_i m_i} \quad (3)$$

Donde:

I.  $ECI_i$  es el índice de condición del elemento  $i$

En este estudio, este índice fue calculado a través de inspecciones visuales. Es importante mencionar que cuando el puente presenta varios elementos del mismo tipo, solo se elegirá el que esté en peor estado para tener un índice que sea conservador.

II.  $w_i$  es el peso que tiene el elemento  $i$  con respecto a toda la estructura

Estos pesos van desde 1 para los elementos de menor importancia hasta 5 para los elementos más importantes. Los pesos son dependientes del tipo de estructura, por lo que se debe tener un mismo criterio para todas las inspecciones.

III.  $m_i$  es el factor del material de cada elemento  $i$

Este factor representa la vulnerabilidad que presenta cada material, y toma valores entre 1 para acero hasta 5 para madera. Este valor hace referencia a la resistencia del material frente a las posibles fallas que puede presentar el puente.

Los parámetros definidos para obtener el índice IBI y los pesos del índice SI, se basaron en encuestas a expertos en el área de puentes. Esta calibración se basa en un diseño factorial de cada una de las variables, donde cada una puede tomar entre dos y cinco valores.

Para la calibración de los parámetros de la ecuación SI, el análisis fue análogo al diseño factorial, tomando como escenarios 14 factores: tráfico, rutas alternativas, longitud del puente, actividad económica, ancho del tablero, tipo de estructura, restricciones al tráfico pesado, ahorro de tiempo, jerarquía de carreteras, importancia del camino, conexión, accidentes de tráfico y vida útil restante. Esto para determinar cuáles factores eran los más relevantes. El análisis mostró que el factor asociado a rutas alternativas, el tráfico y la actividad económica eran los principales factores, mientras que, el ancho del puente y la restricción de cargas eran menos incidentes.

---

## 2.5.2 Propuesta de una metodología para la evaluación de las condiciones de puentes (Rashidi & Gibson, 2011)

Esta propuesta incluye distintos tipos de priorizaciones (1) Inspección inicial, (2) inspección de rutina, (3) Inspección detallada, (4) Evaluación estructural (5) Inspección especial e (6) Inspección subacuática.

Además, describe un procedimiento de calificación de puentes, para utilizar los datos recopilados durante cada inspección y para dar cuenta de los problemas de incertidumbre y complejidad asociados con el proceso detallado de inspección visual.

Esta metodología recomienda un índice a nivel de elemento basado en cuatro estados de condición definidos por la Autoridad de Tráfico y Carreteras (RTA) en Nueva Gales del Sur (Australia), donde la condición del puente varía de 1 a 4 en orden ascendente. En este sistema, el puente se divide en elementos generalmente de un material similar (la mayoría de los puentes tienen de diez a doce elementos). El inspector registra la cantidad de elementos dentro del puente y su estado de forma independiente. La cantidad total debe medirse en las unidades correctas para el elemento. Las unidades de medida son metros cuadrados (cubierta, muelle y pila), metros (juntas y barandas) o cada uno (apoyos, drenajes, etc.).

El índice de condición del elemento se puede calcular como el valor actual dividido por el valor inicial del elemento. Para describir el estado general de condición de los elementos estructurales, el Índice de condición estructural del elemento (ESCI) se presenta como el promedio de todos los elementos.

$$ESCI = \frac{\sum(q_i \times C_i)}{\sum q_i} \quad (4)$$

Donde,

$q_i$  es la cantidad de elementos informados en el índice de condición  $C_i$

$C_i$  es la condición del subelemento  $C_i \in (1, 2, 3, 4)$

Como puede verse en el proceso de estimación de ESCI, los valores de cada elemento se utilizan como una aproximación para el valor final del elemento. Las cantidades de elementos también se pueden usar para la estimación del costo del trabajo de mantenimiento probable.

De hecho, algunos elementos requieren más atención que otros en términos de vulnerabilidad, material y/o importancia estructural. Sin embargo, la determinación de la vulnerabilidad de varios elementos del puente es una tarea difícil. A veces es inevitable hacer algunos análisis estructurales, con el programa de pruebas no destructivas. Alternativamente, los expertos e inspectores de puentes pueden confiar en su propia experiencia y conocimiento para determinar estos factores.

### 2.5.2.1 Factor de Vulnerabilidad del Material ( $M_i$ )

De acuerdo con (Valenzuela, Solminihac, & Echaveguren, 2010) y (Austroads, 2004) el factor de vulnerabilidad de un material es un parámetro importante que debe considerarse en la evaluación estructural de los elementos del puente. Según la vulnerabilidad de los diferentes materiales, por ejemplo, el hormigón pretensado tiene mayor vulnerabilidad, con un factor de 4, dado que es más susceptible a grietas ya sean de gran tamaño o pequeñas, mientras que el acero tiene una mínima

---

vulnerabilidad con un  $M_i$  de 1, dado que tiene un rango de fluencia mayor y en general presenta una mayor resistencia de la que dice el fabricante que este posee.

### 2.5.2.2 Factor de importancia estructural del elemento ( $S_i$ )

Generalmente, la condición prevaleciente (calificación) del elemento puede causar algunas imprecisiones en la evaluación estructural general. Este problema puede tratarse con la introducción del factor de significación estructural del elemento que no depende de la condición imperante de los componentes (Sasmal, S; Ramanjaneyulu, K, 2008).

Se intentó emplear un enfoque sistemático para cuantificar la importancia estructural de varios elementos del puente. Definir la importancia relativa de un elemento con respecto a los otros componentes, para de esta forma cuantificar el factor de importancia. Este estudio está basado en los resultados de una encuesta que fue respondida por 46 inspectores y expertos en puentes.

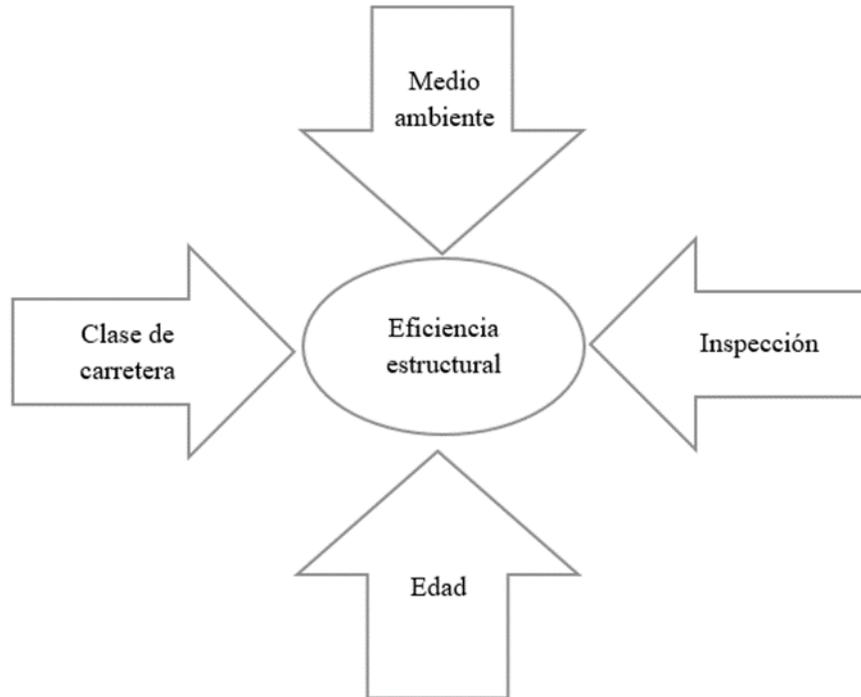
Rashidi & Gibson, describieron la importancia estructural de un componente del puente como el nivel que el componente contribuye a la seguridad e integridad estructural general del puente y se propuso el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para estimar el valor de ese parámetro. Se ha investigado la Importancia Estructural del Elemento mediante la realización de entrevistas de campo semiestructuradas con ingenieros e inspectores de puentes. El resultado de los juicios de expertos considerando los resultados de investigaciones previas se resume en la Tabla 2-1. Los números más altos representan la mayor importancia.

Tabla 2-1 Factor de significación estructural  $S_i$

Elemento	Factor de significancia estructural $S_i$
Barrera, Acera, Bordillos, Juntas	1
Fundación, pilar, muro de contención	2
Cubierta, Apoyos	3
Vigas, Cabezales, Muelles	4

### 2.5.2.3 Factor de eficiencia estructural ( $SE$ )

Los elementos del puente se deterioran durante un período prolongado y la tasa de deterioro es función de varios parámetros, tales como el entorno en el que se encuentra la estructura, el tiempo que la estructura ha estado en servicio (Edad), la función que la estructura debe realizar (Clase de vía), la calidad de la inspección y el monitoreo Figura 2-13.



*Figura 2-13 Factores causales*

### I. Factor ambiental

Este parámetro considera las acciones ambientales causadas por el hombre/naturales que causan el deterioro químico y físico del concreto. Las principales preocupaciones son los ciclos de congelación y descongelación; entrada de cloruro, ataque de sulfato, ataque ácido y reacción de agregado alcalino (Rashidi & Lemass, 2011).

### II. Factor de edad

Como los puentes están diseñados para resistir cargas de fatiga (que aumenta con el tiempo), la edad es un parámetro importante involucrado en la evaluación de las condiciones estructurales. La esperanza de vida de los puentes actuales es de aproximadamente 50 años y para los principales puentes de concreto es de alrededor de 100 años. Deben tener en cuenta los rodamientos de puente y otros equipos capaces de durar como máximo 25 años. Cuando la vida útil se eleve más allá de los actuales 50 años, el estudio de los principales puentes requiere que se reconsidere la seguridad para integrar la coherencia en el diseño (Branco & Brito, 2004). La vida útil de un puente llega a su fin cuando uno de los componentes clave no funciona según lo diseñado. La clasificación de este factor se presenta como (1) "Recién construido" se asigna para el primer trimestre de la vida útil del puente, (2) "Nuevo", (3) "Viejo" y (4) "Muy viejo" se asignan respectivamente para el segundo, tercer y último trimestre de vida útil.

### III. Factor de inspección:

La calidad y la frecuencia de la inspección desempeñan un papel clave en la fiabilidad estructural de los puentes. Los datos de inspección proporcionan una fuente de información inclusiva para rastrear las tendencias de desarrollo de condiciones de las estructuras de puentes. Sin embargo, las

incertidumbres y la falta de claridad asociadas a los datos de inspección causan muchos problemas en su aplicación (Wang & Foliente, 2008).

IV. Factor de tipo de camino:

Este factor está involucrado en función del uso y la importancia del puente a la red vial, incluyendo el tipo de camino (calle, carretera o autopista), el entorno de puente como rural o urbano, y la característica que cruza el puente tal como carretera, vía navegable y ferrocarril (Wang & Foliente, 2008)

2.5.2.4 *Clasificación y vector de prioridad de los factores causales:*

Todos los factores mencionados anteriormente se han clasificado en base a las definiciones señaladas en la sección y son calificados de 1 a 4, por lo que los números más altos están asociados con una mayor gravedad.

Con el propósito de encontrar el vector de prioridad de los factores contribuidos, se ha elegido el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) desarrollado por Saaty (1977). En el estudio, se solicitó a catorce expertos (principalmente ingenieros de puentes y administradores de activos) que compararan los parámetros involucrados en pares y especificaran la importancia relativa de cada parámetro.

Los resultados de la comparación por pares se ingresan en una matriz de comparación recíproca como se muestra en la Tabla 2-2.

*Tabla 2-2 comparación por pares del nivel de importancia de los factores causales (FC)*

	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>I</b>	<b>R</b>	<b>Peso</b>
<b>E</b>	1	1/3	1/3	1	0,120
<b>A</b>	3	1	1	5	0,411
<b>I</b>	3	1	1	3	0,362
<b>R</b>	1	1/5	1/3	1	0,107

Ahora el factor causal (CF) puede calcularse utilizando las calificaciones de los parámetros causales y sus ponderaciones asociadas (estimadas a través de AHP) como se muestra en la siguiente ecuación (Rashidi & Lemass, 2011):

$$CF = 0.411A + 0.120E + 0.107R + 0.362I \tag{5}$$

Donde A es el factor de edad; E es el factor ambiental; R es el factor de tipo de camino; I es el factor de inspección, explicados anteriormente.

2.5.2.5 *Índice general de condiciones estructurales*

El Índice de salud estructural (SHI) integra todos los parámetros antes mencionados que influyen en la eficiencia estructural y se estima de la siguiente manera:

$$SHI = \frac{CF \sum S_i \times M_i \times ESCI_i}{n} \tag{6}$$

Donde CF es el factor causal; Si es el factor de importancia estructural; Mi es el factor de vulnerabilidad material; ESCIi es el índice de condición estructural de elemento; n es la cantidad de

tipos de elementos. El rango de SHI va desde 1 hasta 256. Este índice se aplicará para la priorización de puentes en una red y la prioridad para las acciones correctivas aumenta a medida que aumenta el número.

Teniendo en cuenta el límite superior idéntico (4) y el límite inferior (1) de todos los parámetros y para mantener la uniformidad de los rangos de cantidad, se define la condición de un elemento estructural completo a través del Índice de condición estructural general (OSCI), el cual se calcula mediante el valor obtenido para el SHI y definido como se muestra en la Tabla 2-3:

*Tabla 2-3 Índice de condición estructural general en base al índice de salud estructural*

<b>OSCI</b>	<b>SHI</b>
<b>1</b>	1
<b>2</b>	Entre 1 y 16
<b>3</b>	Entre 16 y 81
<b>4</b>	Entre 81 y 256

El número de calificación recalculado para OSCI es aplicable para priorizar y también seleccionar las principales estrategias correctivas, como reparación, reforzamiento y reemplazo.

### 2.5.3 Priorización de puentes viales utilizando (MCDM) Toma de Decisiones Multi-Criterios (Majid & Yousefi, 2012)

#### 2.5.3.1 Antecedentes

Bana et al. (2008) presentaron un modelo multicriterio (MACBETH) que permite la priorización de puentes y túneles en función de su vulnerabilidad e importancia estructural. Valenzuela et al. (2010) utilizaron el marco basado en necesidades para desarrollar un Índice Integrado de Puentes (IBI) como una ayuda para la priorización y la toma de decisiones sobre el mantenimiento y la rehabilitación de puentes. Los coeficientes ponderados de diferentes criterios o aspectos no técnicos, generalmente, no se incluyen en dichos métodos, ya que, en la mayoría de los casos, los criterios generalmente son contradictorios entre sí. Debido a esto, la decisión final se basa en el sentido común y el juicio de ingeniería (Ramirez, Pan, & Mwakasisi, 1996). Estos métodos se utilizan comúnmente en diferentes campos, por ejemplo, la planificación de asignación de recursos (Opricovic & Tzeng, 2004), la ubicación de una instalación especial (Queiruga, Walther, Gonzalez, & Spengler, 2008), la adaptación estructural sísmica (Caterino, Iervolino, Manfredi, & Cosenza, 2009), entre otros.

#### 2.5.3.2 Aspectos generales y pasos de MCDM

MCDM (Toma de Decisiones Multi Criterios) es uno de los enfoques más utilizados para la gestión de conflictos. En este enfoque, los problemas prácticos a menudo se caracterizan por un conjunto de criterios, mientras que no existe una solución que satisfaga todos los criterios simultáneamente. Por lo tanto, se debe determinar una solución de compromiso para ayudar a los tomadores de decisiones a tomar una mejor decisión. Majid & Yousefi, desarrollaron la técnica TOPSIS (Técnica de Preferencia de Orden por Similitud a una Solución Ideal) basada en el concepto de que "la alternativa elegida debería tener la distancia más corta desde la solución ideal positiva y la distancia más larga desde la solución ideal negativa". La solución ideal es la colección de puntuaciones ideales (o calificaciones) en todos los criterios considerados. La técnica TOPSIS define un "índice de similitud" al combinar la proximidad con la solución ideal positiva y la lejanía de la solución ideal negativa.

### 2.5.3.3 Criterios y evaluación de las alternativas

Los criterios son propiedades cualitativas o cuantitativas mediante las cuales se mide y evalúa el rendimiento de las alternativas. Los criterios se pueden distinguir como tipo de "beneficio", cuando el responsable de la toma de decisiones (DM) está interesado en maximizar la evaluación de las alternativas, y el tipo de "costo", cuando el DM desea minimizarlos. Por lo tanto, los criterios generalmente son contradictorios entre sí. En la mayoría de los casos, no existe una solución definitiva que satisfaga todos los criterios simultáneamente (Caterino, Iervolino, Manfredi, & Cosenza, 2009). La determinación de la prioridad del puente depende de varios factores básicos tales como la vulnerabilidad estructural (V), el peligro sísmico (H) y la clasificación de importancia (I) del puente.

#### I. Vulnerabilidad estructural (V)

La vulnerabilidad es una función de las propiedades estructurales del puente y explica las condiciones de todo el puente. Se estima por medio de inspección visual. El valor más bajo de V es 1 y el más alto es 10.

#### II. Amenaza sísmica (H)

Según Majid & Yousefi (2012) la amenaza sísmica de un puente se determina a partir de un proceso probabilístico. La amenaza se determina a partir de la geología, la topografía y la sismología de la región, así como de los registros históricos de eventos anteriores. La amenaza sísmica se refleja en el coeficiente de aceleración (A) que representa la Aceleración Máxima del Suelo (PGA) que probablemente ocurrirá debido a un terremoto con un período de retorno de 475 años. Esta aceleración tiene un 10 por ciento de probabilidad de excedencia dentro de un período de 50 años. Otro factor que modifica el PGA es el coeficiente del sitio (S). Por lo tanto, la amenaza sísmica se define como se muestra en la ecuación (7).

$$E = 12.5 \times A \times S \quad (7)$$

Donde S queda definido por el tipo de suelo como se muestra en la siguiente tabla

*Tabla 2-4 Coeficiente de sitio*

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Coeficiente de sitio S</b>
<b>I</b>	1,0
<b>II</b>	1,2
<b>III</b>	1,5
<b>IV</b>	2,0

#### III. Clasificación de Importancia (I)

La Clasificación de Importancia (I) refleja la importancia del puente en la red de carreteras. La determinación de la importancia de un puente es subjetiva y se deben considerar los requisitos sociales, de supervivencia, financieros y de defensa (Valenzuela, Solminihac, & Echaveguren, 2010). Tres clasificaciones importantes se especifican en este estudio según la Tabla 2-5.

**Tabla 2-5 Clasificación de importancia**

**Estratégico** Puentes cuya pérdida crearía un impacto económico importante o puentes que se definen formalmente como estratégicos por un plano local (esta categoría también incluye aquellos puentes que cruzan rutas que se definen como estratégicas).

<b>Crítico</b>	Aquellos puentes que deben continuar funcionando inmediatamente después de un terremoto y que son necesarios para evitar la seguridad secundaria de la vida.
<b>Estándar</b>	Todos los demás puentes se clasifican como estándar

#### 2.5.3.4 Matriz de decisión y pesos

Para aplicar el método MCDM, todas las alternativas deben evaluarse de acuerdo a cada criterio utilizando la matriz de decisión. La matriz de decisión es una matriz de  $m \times n$  (m alternativas y n criterios) en la que el elemento  $x_{ij}$  indica el rendimiento de la alternativa  $A_i$  con respecto al criterio  $C_j$ . Esto requiere que las variables cualitativas se conviertan en números nítidos y que se determine la importancia relativa (peso) de cada criterio (Caterino, Iervolino, Manfredi, & Cosenza, 2009). De acuerdo con los datos recopilados en este estudio, las alternativas se enumeran en el lado izquierdo de la matriz, y los criterios se enumeran en la parte superior de la matriz junto con los pesos relacionados. Tabla 2-6 muestra un ejemplo de matriz de decisión y el peso de los criterios.

**Tabla 2-6 Matriz de decisión y peso de los criterios**

Alternativas	Criterio		
	V 0.39	H 0.37	I 0.24
A1	1	4.5	2
A2	5	4.5	1
A3	2	3.6	3
A4	6	4.5	2
A5	7	4.5	3
A6	3	6	1
A7	3	3.6	2
A8	5	4.5	3
A9	4	5	1
A10	6	4.5	3
A11	1	3.6	3
A12	2	4.5	2
A13	8	4.5	2
A14	4	6	3
A15	7	3.6	2

#### 2.5.3.5 Bases del procedimiento de TOPSIS

Hwang & Yoon (1981) introdujeron el método TOPSIS basado en la idea de que la mejor alternativa debe ser lo más cercana posible a la solución ideal y lo más lejos posible de la solución ideal negativa. Supusieron que, si cada criterio toma una variación monótonamente creciente o decreciente, entonces es fácil definir una solución ideal. Dicha solución se compone de todos los mejores valores de rendimiento exhibidos (en la matriz de decisión) por cualquier alternativa para cada criterio, mientras

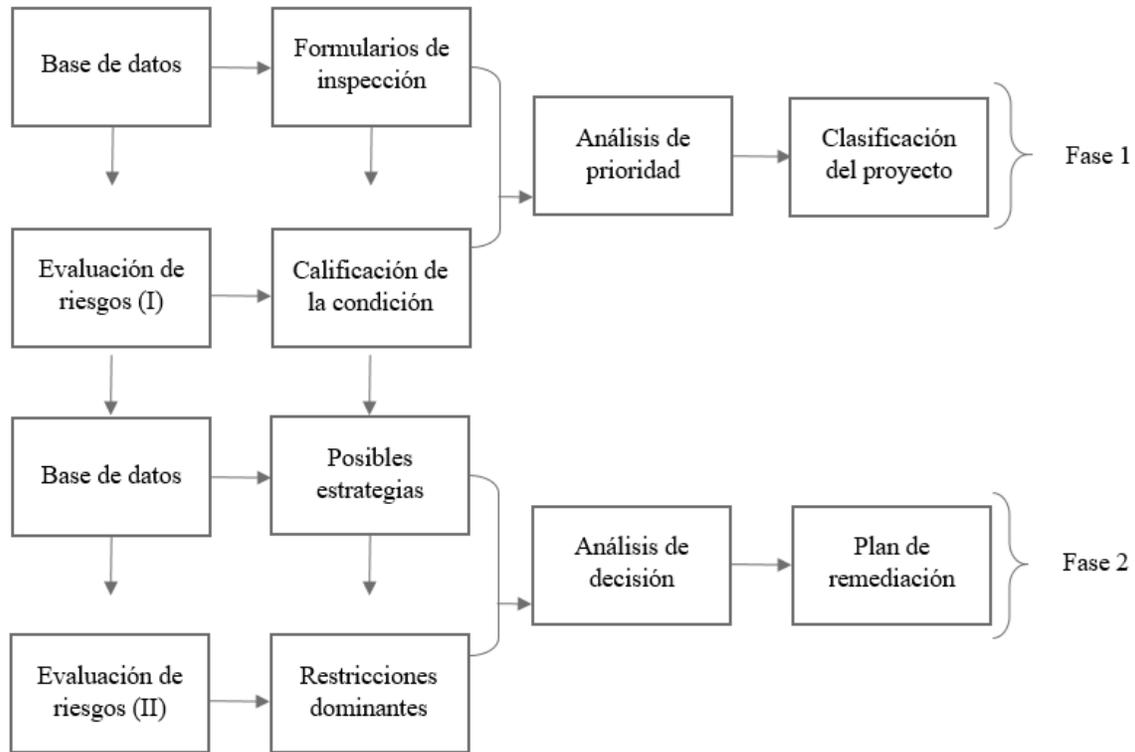
---

que la peor solución se compone de todos los peores valores de rendimiento. El objetivo es proponer las alternativas que tienen la distancia euclidiana más corta a la solución ideal.

#### 2.5.4 Evaluación de condiciones y clasificación de prioridad de puentes (Rashidi, Samali, & Sharafi, 2016)

Debido al papel sustancial de los puentes en las redes de transporte y de acuerdo con los fondos limitados para la gestión de puentes, las estrategias de remediación deben ser priorizadas. Una evaluación de puente conservadora dará como resultado acciones innecesarias, como el costoso fortalecimiento o reparación de puentes. Por otro lado, cualquier negligencia en el mantenimiento de un puente y acciones demoradas pueden ocasionar costos elevados o activos degradados. La precisión de las decisiones desarrolladas por cualquier ingeniero de puentes se basa en una correcta evaluación de las condiciones del puente que emana de la inspección visual. La mayoría de los sistemas de clasificación de puentes se basan comúnmente en condiciones estructurales. Parámetros como la funcionalidad y las preferencias del cliente se utilizan de forma aislada. Rashidi, Samali, & Sharafi (2016) crearon un índice llamado Índice de prioridad (PI). PI se expresa como un número que permite a los responsables de la toma de decisiones simplemente comprender y comparar la condición general de una variedad de puentes en la red. Abarca tres factores: (1) eficiencia estructural, (2) eficiencia funcional y (3) factor de impacto del cliente.

Adicionalmente, los autores crearon un Sistema de Gestión de Puentes (BMS) conocido como CBR-DSS (Sistema de Soporte de Decisión de Remediación de Puentes de Hormigón) como resultado de su investigación. CBR-DSS incluye dos fases principales: clasificación del proyecto y planificación de remediación. El marco conceptual del sistema se presenta en la Figura 2-14.



*Figura 2-14 Marco de referencia conceptual*

Para abordar la naturaleza multiobjetivo del trabajo y evitar las deficiencias antes mencionadas, todas las observaciones y los hechos obtenidos de la inspección se pueden integrar en un índice que indique la eficiencia general de la estructura en términos de seguridad y problemas de servicio. Este índice que incluye la eficiencia estructural (SE), la eficiencia funcional (FE) y el factor de impacto del cliente (CIF) finalmente se utiliza para la clasificación de prioridad de puentes en la red, como se vio previamente en 2.5.2 (Rashidi & Gibson, 2011) propusieron una metodología para la evaluación de puentes que calculaba el Índice de salud estructural (SHI) con respecto a la eficiencia estructural (SE).

#### 2.5.4.1 Evaluación eficiencia funcional FE

Los sistemas de gestión de puentes moderno consideran la calidad de servicio (FE) además de la eficiencia estructural (SE). Según Rashidi & Lemass (2011), la FE del puente depende del volumen de tráfico que puede soportar, lo que se relaciona principalmente con la capacidad de carga del puente, el número de carriles existentes o el ancho de la plataforma, espacio libre vertical y las barreras. El sistema de drenaje, las disposiciones para peatones y ciclistas, y cualquier cambio posterior al diseño también deben considerarse cuidadosamente en el proceso de evaluación.

Cualquier deficiencia asociada con los elementos anteriores puede reducir el nivel de servicio y acelerar el proceso de deterioro. Por esta razón, es ventajoso considerar la eliminación de estas deficiencias dentro del proceso de toma de decisiones. Se eligen cinco deficiencias principales que pueden afectar seriamente la seguridad y capacidad de servicio del puente para incluirlas en el marco del método de evaluación desarrollado: (1) capacidad de carga, (2) espacio libre vertical, (3) ancho, (4) barreras y (5) el sistema de drenaje, a continuación, se describen cada una de ellas.

---

## I. Capacidad de carga

Para la clasificación de la capacidad de carga de puentes, se requiere considerar la carga real en el puente y sus componentes. De acuerdo con el Código de diseño de puentes de Australia (AS5100, 2004), las inspecciones de las cargas en el puente deberían considerar:

- si hay algún aumento en la carga muerta o cargas superpuestas
- si ha habido algún cambio en el peso u otras cargas aplicadas debido al aumento de las provisiones del servicio
- si las cargas se están aplicando según lo previsto a elementos individuales o detalles. Señalando cosas como carga desigual en pares de miembros, miembros torcidos y doblados, dañados y agrietados miembros, pasadores desgastados, remaches sueltos
- si los componentes están sujetos a problemas de vibración o carga de viento, la eficiencia de los rodamientos para permitir el movimiento y la articulación según lo previsto, incluido un control para garantizar que los movimientos no se vean obstaculizados por acumulación de material y
- si ha habido algún movimiento de cimentación o cualquier cambio en las condiciones del terreno que ha influido en las cargas en el puente.

En la Guidelines for Bridge Management (Austroads, 2004) se han adoptado los procedimientos de clasificación de carga. El procedimiento clasifica la capacidad de carga viva disponible de un puente en comparación con una de las tres configuraciones nominales del vehículo de clasificación. La capacidad de carga del puente que se utilizará para el indicador se define como una comparación de la capacidad de carga viva del puente con la configuración de carga límite legal.

En este estudio, el factor de capacidad de carga ( $L_c$ ) se introduce como la proporción de la capacidad real de carga viva a la capacidad diseñada inicial. Si el  $L_c$  es igual a 1, entonces la estructura puede soportar exactamente la carga requerida y, si es menor a 1, la estructura es deficiente. El  $L_c$  mayor que 1 representa un puente más confiable en términos de la capacidad de carga viva.

## II. Altura vertical del puente

El espacio libre vertical es la altura arriba y debajo de la plataforma del puente. Esto puede ser un factor de seguridad crítico ya que los vehículos o trenes que pasan por debajo o en el puente deben tener suficiente espacio vertical para pasar con seguridad. Cada agencia de puente/carretera especifica de forma independiente una autorización vertical objetivo, en función de las circunstancias locales y la estrategia definida para la ruta (Austroads, 2004). El atributo de puente que se puede usar para evaluar este elemento es el porcentaje de diferencia entre la separación vertical existente y la obligatoria. Esto puede calcularse usando la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{Ht - H}{H} \times 100 \quad (8)$$

## III. Ancho del puente

Cada agencia de puente especifica de forma independiente el ancho de calzada traficable objetivo, según la estrategia general de la agencia vial para la ruta y las condiciones locales teniendo en cuenta la geometría de la ruta, los volúmenes y la composición del tráfico, las condiciones climáticas y la localidad del puente (Austroads, 2004). Este factor se puede definir como el porcentaje de diferencia entre el ancho existente y el ancho obligatorio de la calle del puente:

(9)

$$Wb = \frac{Wt - W}{W} \times 100$$

Donde W es el ancho del puente y Wt es el ancho del objetivo.

#### IV. Barrera del puente

Una barrera de puente es una estructura longitudinal instalada para evitar que un vehículo caprichoso se salga del borde de un puente o alcantarilla. Si bien esto es similar a la función de una barrera en el borde de la carretera, una barrera de puente generalmente está diseñada para no tener deflexiones en caso de impacto. Generalmente se construyen a partir de postes metálicos o barandillas, forma de seguridad de hormigón o una combinación de ambos. Se sugiere que el indicador de suficiencia de este factor sea el porcentaje de los sistemas de barrera puente que no se ajustan al nivel objetivo definido:

$$Bb = \frac{Bt - B}{B} \times 100 \quad (10)$$

Donde B es la longitud de la barrera del puente y Bt es la longitud de la barrera que satisface el objetivo definido.

#### V. Puente de drenaje

Una de las deficiencias de puente más importantes está relacionada con el rendimiento reducido del sistema de drenaje. El sistema de drenaje puede no ser adecuado para drenar el agua acumulada. Es necesario evaluar el rendimiento del sistema de drenaje durante una inspección. Un drenaje pobre acelerará la corrosión del proceso de refuerzo y deterioro; por lo tanto, puede afectar directamente la seguridad de los pasajeros y la durabilidad del puente. Con base en la evaluación de los inspectores, se puede asignar uno de los cuatro estados de condición (deficiente, regular, bueno o excelente) que representan la eficiencia del sistema de drenaje de puentes. (1) Se puede dar una condición excelente cuando el sistema de drenaje funciona de manera efectiva. (2) Se asigna un estado de buena condición cuando ha ocurrido una leve erosión, pero no hay preocupación de seguridad para los vehículos que viajan en el puente. (3) El estado de condición aceptable refleja el comienzo del deterioro y (4) se da un estado de condición deficiente cuando los drenajes están bloqueados y puede ser un problema de seguridad para los vehículos.

##### 2.5.4.2 Índice de eficiencia funcional (FE)

Los parámetros que contribuyen a la eficiencia funcional (FE) y sus estados de condición asociados se resumen en Tabla 2-7.

*Tabla 2-7 Factor de clasificación de funcionalidad*

	1	2	3	4
<b>L<sub>c</sub></b>	L <sub>c</sub> ≥ 1	0,9 ≤ L <sub>c</sub> < 1,0	0,9 ≤ L <sub>c</sub> < 1,0	L <sub>c</sub> < 0,7
<b>V<sub>c</sub></b>	V <sub>c</sub> ≤ 5	5 ≤ V <sub>c</sub> < 12	12 ≤ V <sub>c</sub> < 20	V <sub>c</sub> ≥ 20
<b>W<sub>b</sub></b>	W <sub>b</sub> ≤ 5	5 ≤ W <sub>b</sub> < 12	12 ≤ W <sub>b</sub> < 20	W <sub>b</sub> ≥ 20
<b>B<sub>d</sub></b>	B <sub>d</sub> ≤ 5	5 ≤ B <sub>d</sub> < 12	12 ≤ B <sub>d</sub> < 20	B <sub>d</sub> ≥ 20
<b>D<sub>s</sub></b>	Excelente	Bueno	Regular	Pobre

---

Como resultado de juicios de expertos,  $L_c$  menor al 70% y  $V_c$ ,  $W_b$  y  $B_b$  superiores al 20% se consideran críticamente deficientes. La calificación del sistema de drenaje ( $D_s$ ) se expresa mediante algunos términos lingüísticos y puede ser especificada por el inspector/ingeniero de puentes.

Para evaluar la FE global, todos estos elementos deben ponderarse. De nuevo, se ha utilizado el juicio de los posibles tomadores de decisiones con respecto a la importancia relativa de los diversos factores. El resultado es el siguiente

$$FE = 0.7L_c + 0.1V_c + 0.1W_b + 0.05B_b + 0.05D_s \quad (11)$$

Donde  $L_c$  es la capacidad de carga;  $V_c$  es la separación vertical;  $W_b$  es el ancho;  $B_b$  es la barrera;  $D_s$  es el sistema de drenaje. La capacidad de carga que certifica la seguridad y la capacidad de servicio de la estructura tienen el mayor peso. El rango es un valor numérico que varía de 1 a 4. La prioridad para las acciones correctivas aumenta a medida que aumenta el número.

### 2.5.4.3 Evaluación CIF

La naturaleza del lugar de un puente y el alcance del tratamiento de remediación del puente pueden hacer que los tomadores de decisiones cierren las vías del puente o creen rutas alternativas o derivaciones para controlar el flujo de tráfico. Los tiempos de demora de tráfico excesivos a menudo dan como resultado comentarios negativos tanto de los usuarios de la carretera como de sus representantes políticos. Este factor ayuda a construir las implicaciones sociales de la remediación en el proceso de evaluación de riesgos. Es una gran mejora en el curso de acción 'no hacer nada'. Por otro lado, la importancia del puente para la actividad económica puede acelerar el proceso de toma de decisiones hacia el "reemplazo" o la "rehabilitación" (Rashidi & Lemass, 2011). Este factor se puede clasificar en función del nivel de criticidad del puente en términos de consideraciones socioeconómicas, políticas e históricas. Esta parte de la evaluación es bastante significativa; por lo tanto, el responsable de la toma de decisiones clave o el planificador de mantenimiento de puentes debería participar en la asignación de la tasa apropiada con respecto a este parámetro gerencial.

#### I. Índice de prioridad general del puente

En este estudio, se sugiere que la clasificación se realice de acuerdo con un puntaje general estimado utilizando los criterios mencionados anteriormente que se han identificado a lo largo de la recolección de datos y la fase de verificación del modelo de este estudio. Esta función, que se presenta como el Índice de Prioridad (PI), esta es una herramienta simple que integra todos los factores críticos que influirán en la toma de decisiones.

Esto permite a las agencias de puente tomar decisiones y establecer objetivos respaldados por una lógica sólida. Mediante el uso de esta técnica, todos los puentes se ordenan en orden descendente comenzando con el puente con el índice de clasificación más alto, las acciones requeridas se llevan a cabo hasta que se agoten los fondos asignados.

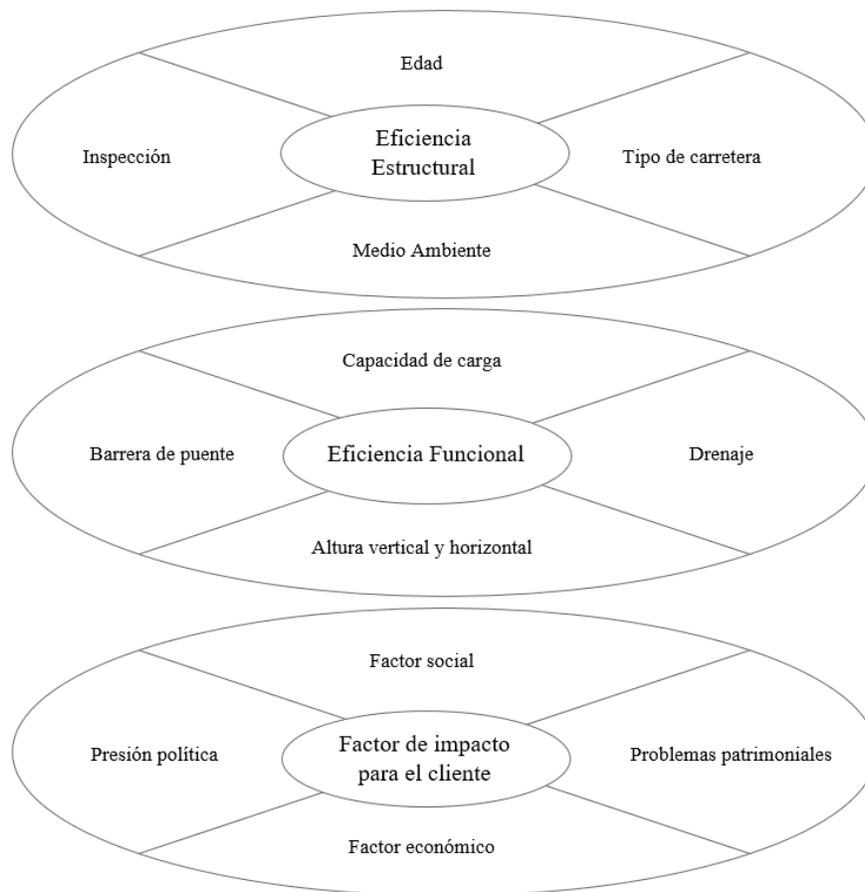
En la Figura 2-13 se muestra un resumen de todos los factores mayores y menores que están involucrados en el proceso de clasificación, ya sea directa o indirectamente. Por otro lado, todos los subparámetros han estado sujetos al proceso de clasificación/ponderación hasta el momento y para cada uno de ellos se ha asignado un peso racional basado en una metodología heurística.

La etapa final es sopesar las principales categorías: SE, FE y CIF. Algunos gerentes de activos e ingenieros de puentes notaron que el CIF tiene el potencial de ser un factor clave; a veces puede

interferir fuertemente. Por ejemplo, cuando se produce cierta presión política, las prioridades cambian y un puente no calificado puede convertirse en una prioridad. Muchos expertos creen que los elementos no técnicos, como las cuestiones sociales y políticas, no deben subestimarse ni exagerarse, porque la seguridad de la estructura para el público es vital. Los resultados del juicio experto se ilustran en la Figura 2-15 a continuación. SE obtuvo el puntaje más alto con 60% de importancia y tanto FE como el CIF adquirieron el 20% del peso total. El índice de priorización (PI) puede estimarse empleando la siguiente ecuación:

$$PI = 0.6SE + 0.2FE + 0.2CIF \quad (12)$$

Los pesos de los parámetros han sido almacenados en el sistema. El usuario/encargado de la toma de decisiones ingresando los datos requeridos para cada puente y el PI se calcula automáticamente. Finalmente, el programa comienza a ordenar los puentes en orden descendente del PI.



**Figura 2-15 Parámetros involucrados en el proceso de clasificación**

Esta investigación es un programa base para el comienzo de la especialización en materia de conservación y/o mantenimiento de puentes. Es necesario un alto nivel de capacitación para los especialistas en inspección, simultáneamente con las experiencias a nivel mundial sobre el tema, para asegurar eficacia y pertinencia en la transferencia tecnológica de las prácticas usadas en otros países.

---

En este estudio, los autores proponen una metodología para la priorización de puentes. Siguiendo un tipo de análisis de criterios múltiples, se calcula PI para cada puente. PI se expresa como un número que permite a los responsables de la toma de decisiones simplemente comprender y comparar la condición de una variedad de puentes en la red. Debido a la naturaleza multi-objetivo del trabajo, se requieren varios factores que deben identificarse y ponderarse adecuadamente. El sistema propuesto brinda flexibilidad a los responsables de la toma de decisiones al declarar su grado de satisfacción con cada criterio y alerta a los tomadores de decisiones sobre los riesgos esperados.

---

## CAPÍTULO 3

# DESARROLLO DE UNA GUÍA DE INSPECCIÓN VISUAL

### 3.1 Metodología de inspección

El objetivo principal de toda gestión de puentes es optimizar los recursos maximizando los resultados, para así, tener un nivel aceptable de funcionalidad de toda la red vial al menor costo posible.

Los recursos disponibles son limitados, y en general, no es posible de manera inmediata realizar en un corto periodo de tiempo reparaciones en todas las estructuras que lo requieran. Por este motivo, se necesita tener una priorización de los puentes para que a medida que se tienen los recursos, se ocupen efectivamente en reparar o reponer los puentes más vulnerables.

El enfoque del análisis que se presentará a continuación toma una serie de criterios cuantificables, donde el objetivo principal es poder tener un método que permita priorizar los puentes con un mínimo de datos, que sea fácil de usar y que refleje las características de la red vial nacional.

Para realizar un análisis de cada uno de los puentes a estudiar es preciso tener una pauta de los datos que se requieren tomar, el orden de la toma de datos, la planificación de los días que se ira a terreno, todo el equipo necesario para un apropiado y seguro acercamiento y, por último, el tiempo requerido para la inspección de cada puente. Es esencial que los datos de inspección sean claros, precisos y completos para que todos los puentes estén inspeccionados de la misma manera, lo cual facilitará su posterior evaluación.

### 3.2 Informe de daños

Es necesario tener un registro de los daños y diferentes características en terreno a la hora de realizar una inspección, es por esto que, se debe tomar fotografías de todo lo visto en terreno, por ejemplo: Pavimento, Juntas de expansión, Viga principal, Baranda, Drenaje, Apoyos, Estribos, Pilares, Cables, Armadura de Acero, Arcos, Pintura entre otros.

Para la realización de la inspección se necesitarán los siguientes implementos: Cámara fotográfica, GPS, lápiz y papel, cinca métrica, zapatos de seguridad, chaleco reflectante y casco.

Para ingresar a las inmediaciones del puente es necesario mantener la seguridad, por lo cual casco, zapatos de seguridad y chaleco reflectante son lo esencial para proceder a la inspección. Una vez en terreno es preciso contar con lápiz y papel para anotar toda la información pedida por la pauta de inspección que se mostrará a más adelante, además, es necesario tener una cinta métrica para medir dimensiones pedidas en la pauta de inspección ya sea medidas totales del puente como daños para determinar el grado de daño en cada elemento. La cámara fotográfica está indicada para poder tener respaldo fotográfico de los daños encontrados, así como también del nombre y características del puente, por último, con el GPS obtendremos las coordenadas geográficas del puente para saber su exacta ubicación dentro de la vía.

Luego de terminada la inspección es necesario incluir un informe sobre: (1) Necesidades del puente (reemplazo y/o preservación), (2) Definir prioridades dentro de cada proyecto, proponer soluciones globales y específicas para cada uno de los puentes analizados, y el (3) Desarrollo y prueba de nuevas técnicas de mantenimiento.

### 3.3 Elección del método

Durante la definición del marco teórico se postularon cuatro índices de priorización distintos, que pueden ser utilizados para distintos tipos de inspección. La decisión de utilizar un índice u otro se basa en las circunstancias particulares de cada inspección como, por ejemplo, la cantidad de recursos existentes para la realización de la inspección o el nivel de detalle requerido, entre otros. A continuación, se verán las ventajas y desventajas que presenta cada una de las propuestas, para luego elegir cual es el índice que presenta las características propicias para ser utilizado en esta investigación:

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Valenzuela, Solminihac y Echaveguren 2010</b>	Facilmente aplicable para un estudio únicamente visual. Toma en cuenta la importancia estratégica, la condición del puente, el riesgo hidraulico y el riesgo sismico. Fue diseñado para que se ajuste a las características de la red vial chilena.	Debe haber una clara definicion de los criterios de inspección por parte del inspector.
<b>Rashidi y Gibson 2011</b>	Toma seis tipos de inspecciones distintas, recopila información más detallada de las condiciones actuales de los puentes, pudiendo realizar un análisis más profundo donde la inspección inicial es tomada en base al estudio de Valenzuela, Solminihac y Echaveguren 2010	Las Inspección inicial, inspección detallada, Evaluación estructural, Inspección especial e Inspección subacuática requieren de recursos especiales para cada una de ellas.
<b>Majid y Yousefi 2012</b>	Se basa en la toma de decisiones multicriterio. Toma en cuenta la vulnerabilidad estructural, el peligro sismico y la clasificación de importancia. Utiliza la idea de una condición ideal del puente, para evaluar la condición actual en comparación a la ideal	Utiliza matrices de decisión las cuales son complejas de establecer y es necesario tener un grupo de expertos en el tema para poder determinar estas matrices.
<b>Rashidi, Samali y Sharafi 2016</b>	Es una versión mejorada de Rashidi y Gibson 2011, pues el estudio incluye la eficiencia estructural (SE), la eficiencia funcional (FE) y el factor de impacto del cliente (CIF). Posee aduicionalmente un plan de remediación	Abarca un analisis más complejo y extenso que los otros métodos.

Basado en el cuadro comparativo de ventajas y desventajas, se tomará como referencia para este estudio Valenzuela, Solminihac, & Echaveguren (2010) dado que se ajusta de mejor manera a los objetivos y condiciones que se establecen en esta investigación. Porque este permite realizar un análisis simple, completo que no requiere una inversión considerable de recursos ni herramientas complejas de análisis .

A continuación en la Figura 3-1 se aprecia las dos fases del método de priorización: 2.5.4 Evaluación de condiciones y clasificación de prioridad de puentes , donde la fase 1 utiliza una base de datos y un formulario de inspección para realizar una primera evaluación de riesgos, un método análogo a lo presentado por Valenzuela, Solminihac, & Echaveguren (2010)

En tanto, en la fase 2 se realiza un análisis de decisión a través de un plan de remediación para que cada puente quede en estado óptimo para su función, el cual, no será un tópico presente en este estudio.

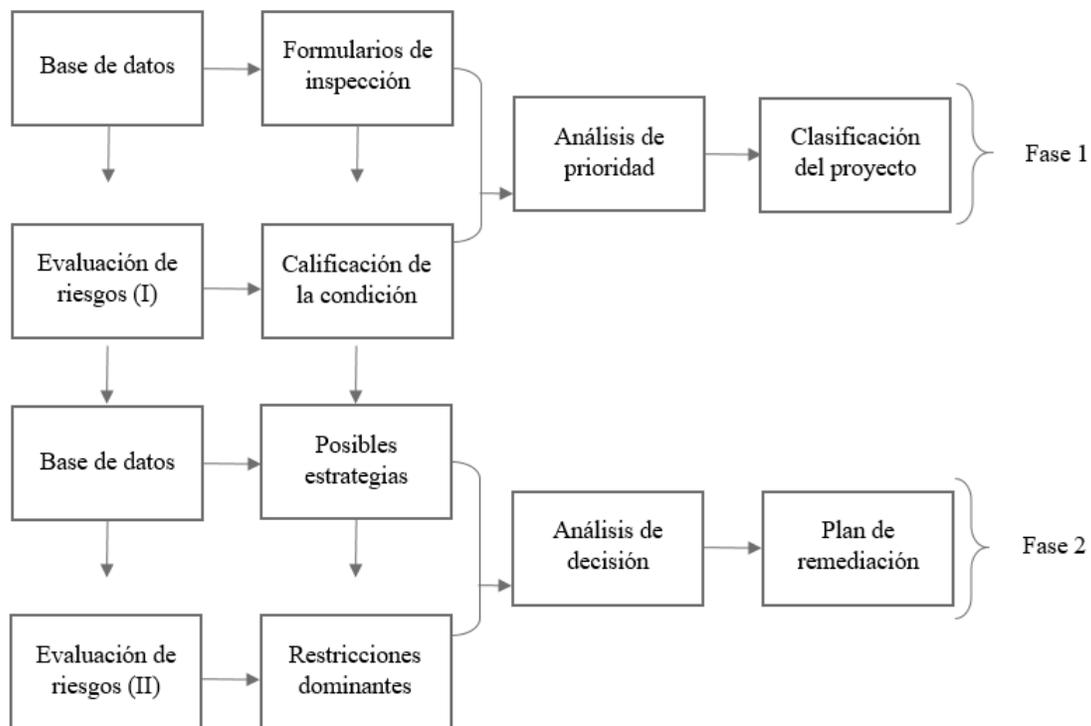


Figura 3-1 Marco de referencia conceptual tomado para el análisis

### 3.4 Pauta de Inspección

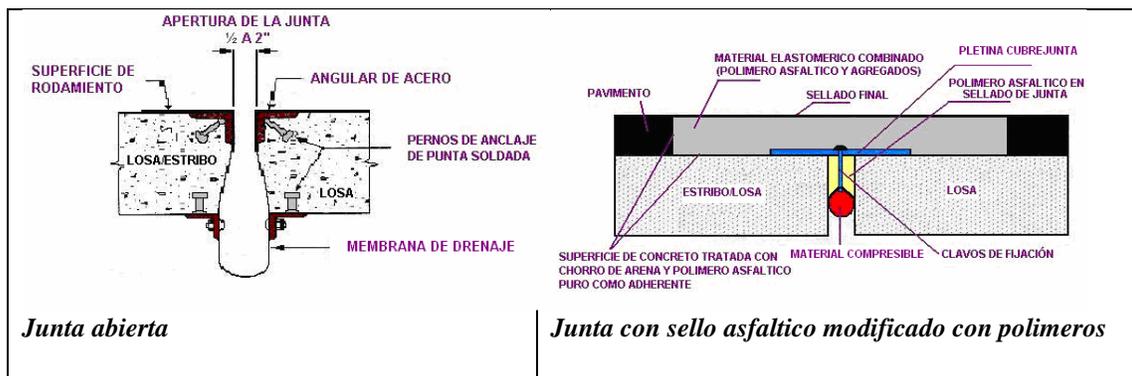
En esta sección se presenta en detalle cada una de las partes de la pauta de inspección. Las características principales de cada puente serán registradas en la sección información básica, donde se recomienda apuntar solo lo pedido en cada sección. La información básica requerida es: nombre del puente, número de ruta, kilometro, ubicación, coordenadas geográficas, tipo de estructura, tipo de superficie de rodado, tipo de material, tipo de junta de expansión, tipo de baranda, tipo de estribos, longitud total, ancho total, número de vanos, número de vigas, restricciones, ruta en paralelo, TMDA. En la sección 4.5.1, se presenta un ejemplo de la información básica tomada de un puente.

Luego de completar la información básica, es necesario definir con claridad el tipo de estructura, superficie de rodado, material principal, juntas de expansión, baranda, apoyos y estribos, de acuerdo a los siguientes lineamientos generales:

- a. Tipo de estructura: Puentes reticulados, puentes de vigas, puentes de una losa, puentes de vigas cajón, puentes suspendidos (colgantes o atirantados), puentes en arco u otro.
- b. Tipo de superficie de rodado: Asfalto, hormigón u otro.
- c. Tipo de material: Madera, acero, hormigón pretensado, hormigón postensado, albañilería u otro.
- d. Tipo de junta de expansión: Abierta, sellada, de placa dentada, de placa deslizante de rieles u otro, como se muestra en la Figura 3 2.
- f. Tipo de baranda: Acero, hormigón u otro.
- g. Tipo de apoyo: Balancín, rodillos, apoyos fijos, basculantes, deslizante u otro
- h. Tipo de estribos: Acero, hormigón u otro

Es importante destacar que en cada categoría existe la opción de seleccionar "Otro, especifique". Es aquí donde es esencial especificar cuál es ese tipo.

Además, no es necesario indicar una descripción de los daños presentes por cada elemento, dado que cada daño se especifica en alguna de las tablas de inspección que se mostraran a continuación, si es de gran necesidad indicar algún daño que no se encuentre bien especificado dentro de las tablas de inspección existe una sección de comentarios al final de la pauta. Luego, en cada tabla se designará el deterioro de cada uno de los elementos del puente, dependiendo de su grado de daño, previa inspección visual de estos. Es fundamental seguir al pie de la letra los criterios enunciados en cada una de las tablas, para que la inspección sea lo más uniforme posible, de tal manera que la comparación entre todos los puentes en análisis sea homogénea.



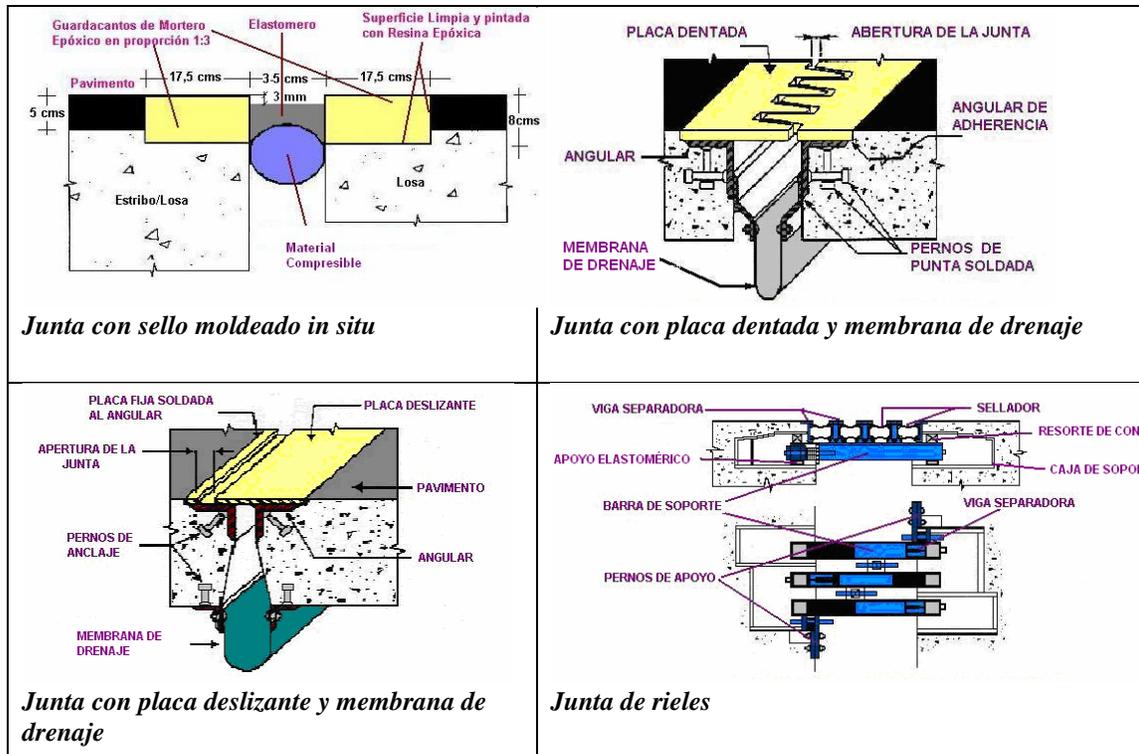


Figura 3-2 Tipos de juntas en puentes

**Superficie de Rodado:** Una vez definido el tipo de material de la superficie de rodado, ya sea de asfalto, hormigón u otro, se utilizan la Tabla 3-1o Tabla 3-2para determinar el nivel de daño del elemento. Las mediciones requeridas para la evaluación de daño son realizadas de manera visual o con regla para medir cuando corresponda.

En la Tabla 3-1, se inspecciona la deformación transversal y longitudinal del asfalto, además de la existencia de grietas, baches u hoyos. Luego, dependiendo del tamaño de estos defectos, se categoriza el daño en alto, medio, bajo o no existente.

Tabla 3-1 Superficie de rodado de asfalto

	Alta	Media	Baja	No Existente
Superficie Afectada	Mayor al 20%	Entre 5% y 20%	Menor a 5%	No hay
Deformación	Ondulaciones de tamaño mayor a 50 mm	Ondulaciones de tamaño menor a 50 mm	Ondulaciones de tamaño menor a 20 mm	No hay ondulaciones
Grietas	Existen grietas de un ancho mayor a 5 mm	Existen grietas de un ancho mayor a 1 mm	Existen grietas apenas visibles	No existen grietas
Baches u hoyos	Existen hoyos de tamaño mayor a 40 mm	Existen hoyos de tamaño menor a 40 mm	Existen hoyos de tamaño menor a 20 mm	No existen baches ni hoyos

En la Tabla 3-2, al igual que la tabla anterior se miden los anchos de grietas y baches u hoyos, para luego ver en detalle deformación en una o dos direcciones, y existencia de acero de refuerzo expuesto.

*Tabla 3-2 Superficie de rodado de hormigón*

	Alta	Media	Baja	No Existente
Superficie Afectada	Mayor al 20%	Entre 5% y 20%	Menor a 5%	No hay
Grieta en una o más direcciones	Existen grietas de un ancho mayor a 5 mm	Existen grietas de un ancho mayor a 1 mm	Existen grietas apenas visibles	No existen grietas
Acero expuesto	Acero expuesto deformado y oxidado	Acero expuesto sano	Muy poco acero a la vista	No se ve acero
Baches u hoyos en la Losa	Existen hoyos de tamaño mayor a 10 cm	Existen hoyos de tamaño menor a 10 cm	No hay hoyos, pero si baches	No existen baches ni hoyos

Adicionalmente, existe una sección donde es posible indicar observaciones que sean pertinentes y que ayuden a aclarar cualquier duda de la medición o estimación del daño observado. Por ejemplo, es posible identificar porqué ocurren las fallas vistas, y si son de gran consideración, sacar fotos y explicarlas con mayor detalle.

**Viga principal:** Estas son las vigas principales, es necesario examinar este elemento estructural para comprobar que no existan daños importantes, desintegración, o deflexiones excesivas. En primer lugar, se debe indicar el material de la viga, si es acero se procede a llenar la Tabla 3-3, y si es hormigón se procede a llenar la Tabla 3-4.

De acuerdo a lo presentado en la sección 2.4.5, si la viga es de acero, se debe determinar la existencia de oxidación, corrosión, deformación y la falta de pernos. Los niveles de daño para cada uno de estos ítems son presentados en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3 Viga principal de acero**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Oxidación	Más del 50%	Más del 20%	Solo en sectores localizados	No hay oxidación
Corrosión	Más del 50%	Más del 20%	Solo en sectores localizados	No hay corrosión
Deformación	Por colisión de vehículo	Por sobrecarga aparente	Análisis comparativo se nota la deformación	No hay deformación
Perdida de Pernos	Más del 50% de pernos perdidos o corroídos	Más del 20% de pernos perdidos o corroídos	Solo uno o dos pernos perdidos o corroídos	No hay perdida de pernos

Si la viga principal es de hormigón se debe proceder a llenar la Tabla 3-4, indicando ancho de grieta, descascaramiento y acero expuesto además de una inspección general de la superficie afectada.

**Tabla 3-4 Viga principal de hormigón**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Superficie Afectada	Mayor al 20%	Entre 5% y 20%	Menor a 5%	No hay
Grieta en una o más direcciones	Existen grietas de un ancho mayor a 5 mm	Existen grietas de un ancho mayor a 1 mm	Existen grietas apenas visibles	No existen grietas
Acero expuesto	Acero expuesto deformado y oxidado	Acero expuesto sano	Muy poco acero a la vista	No se ve acero
Descascaramiento	Se puede apreciar a distancia el acero expuesto	Descascaramiento en varios lugares sin ver acero	Descascaramiento puntual	No existe descascaramiento

**Baranda:** estas proporcionan seguridad tanto a los vehículos como a los peatones. Son construidas de acero u hormigón, donde la Tabla 3-5 y Tabla 3-6 detallan los niveles de daño para el acero y el hormigón, respectivamente.

La Tabla 3-5 muestra deformación, oxidación y corrosión del acero como posibles fallas. Si es significativo agregar alguna falla adicional, se debe anotar en las observaciones.

**Tabla 3-5 Baranda de acero**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Oxidación	Más del 50%	Más del 20%	Solo en sectores localizados	No hay oxidación
Corrosión	Más del 50%	Más del 20%	Solo en sectores localizados	No hay corrosión
Deformación	Por colisión de vehículo	Por sobrecarga aparente	Análisis comparativo se la nota	No hay deformación

La Tabla 3-6 señala las fallas de agrietamiento, descascaramiento del hormigón y acero de refuerzo expuesto.

**Tabla 3-6 Baranda de Hormigón**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Agrietamiento	Existen grietas de un ancho mayor a 5 mm	Existen grietas de un ancho mayor a 1 mm	Existen grietas apenas visibles	No existen grietas
Descascaramiento	Se puede apreciar a distancia el acero expuesto	Descascaramiento en varios lugares sin ver acero	Descascaramiento puntual	No existe descascaramiento
Acero expuesto	Acero expuesto deformado y oxidado	Acero expuesto sano	Muy poco acero a la vista	No se ve acero

**Estribos:** los estribos pueden presentar grietas en las uniones de estos, deterioros en el concreto por fisuras, corrosión, asentamiento, socavación y descascaramiento, el tipo de material de los estribos también fue determinado en la tabla básica, antes detallada.

La Tabla 3-7, se usa para los estribos de acero, como los elementos de acero antes mencionados, se necesita analizar deformación, oxidación y corrosión además de, los asentamientos que puede presentar el estribo.

**Tabla 3-7 Estribos de acero**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Deformación	Por colisión de vehículo más de 20%	Entre 10 y 20%	menor al 10%	No hay deformación
Oxidación	Más del 20%	Entre 10 y 20%	Solo en sectores localizados	No hay oxidación
Corrosión	Más del 20%	Entre 10 y 20%	Solo en sectores localizados	No hay corrosión
Asentamiento	Asentamiento de tamaño mayor a 10 cm	Asentamiento de tamaño menor a 10 cm	Asentamiento pequeño que no se pueden medir	No hay Asentamiento

La Tabla 3-8, se usa para los estribos de hormigón armado, al igual que los elementos de hormigón antes mencionados, se examinan agrietamiento, descascaramiento y acero expuesto además de, los asentamientos presentes en el estribo.

**Tabla 3-8 Estribo de hormigón**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Agrietamiento	Existen grietas de un ancho mayor a 5 mm	Existen grietas de un ancho mayor a 1 mm	Existen grietas apenas visibles	No existen grietas
Descascaramiento	Se puede apreciar a distancia el acero expuesto	Descascaramiento en varios lugares sin ver acero	Descascaramiento puntual	No existe descascaramiento
Acero expuesto	Acero expuesto deformado y oxidado	Acero expuesto sano	Muy poco acero a la vista	No se ve acero
Asentamiento	Asentamiento de tamaño mayor a 10 cm	Asentamiento de tamaño menor a 10 cm	Asentamiento pequeño que no se pueden medir	No hay Asentamiento

**Arcos:** en el caso de existir arcos, se indicará el material del cual está constituido el arco, existiendo la posibilidad de indicar si es de hormigón armado, acero u otro.

Las Tabla 3-9 y Tabla 3-10, muestran los distintos deterioros que pueden presentar los arcos de acero y hormigón, respectivamente.

**Tabla 3-9 Arcos de acero**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Deformación	Por colisión de vehículo más de 20%	Entre 10 y 20%	Comparando se nota la deformación	No hay deformación
Oxidación	Más del 20%	Entre 10 y 20%	Solo en sectores localizados	No hay oxidación
Corrosión	Más del 20%	Entre 10 y 20%	Solo en sectores localizados	No hay corrosión
Asentamiento	Asentamiento de tamaño mayor a 10 cm	Asentamiento de tamaño menor a 10 cm	Asentamiento pequeño que no se pueden medir	No hay Asentamiento
Fisura a lo largo del cordón de soldadura	Más del 50%	Más del 20%	Solo en sectores localizados	No hay fisuras

**Tabla 3-10 Arcos de acero**

	Alta	Media	Baja	No Existente
Agrietamiento	Existen grietas de un ancho mayor a 5 mm	Existen grietas de un ancho mayor a 1 mm	Existen grietas apenas visibles	No existen grietas
Descascaramiento	Se puede apreciar a distancia el acero expuesto	Descascaramiento en varios lugares sin ver acero	Descascaramiento puntual	No existe descascaramiento
Acero expuesto	Acero expuesto deformado y oxidado	Acero expuesto sano	Muy poco acero a la vista	No se ve acero

**Iluminación:** es necesario indicar la presencia o ausencia de iluminación en el puente. Además del tipo de iluminación, se debe especificar el estado de dicha iluminación.

**Tabla 3-11 Iluminación**

**Iluminación**

Tipo	
Observaciones	

**Señalización:** al igual que la iluminación, es preciso indicar su presencia o ausencia, en los accesos al puente, y el estado de esta.

**Tabla 3-12 Señalización**

**Señalización**

Tipo	
Observaciones	

**Pilares:** estos elementos pertenecientes a la subestructura son de gran importancia como apoyo de la estructura. Es por esto que, es necesario revisar las zapatas en terreno que sostienen a cada pilar, además se debe indicar la forma de la pila (circular, ovalada, rectangular etc.) y si cada apoyo está formado por una o más columnas en paralelo, por último, si existe alguna observación relevante, es preciso apuntarlo en la sección de observaciones.

**Tabla 3-13 Pilares**

**Pilares**

Tipo	
Forma	
Observaciones	

<b>Tipo de Daño</b>	Alta	Media	Baja	No Existente
Grieta en una o más direcciones	Existen grietas de un ancho mayor a 5 mm	Existen grietas de un ancho mayor a 1 mm	Existen grietas apenas visibles	No existen grietas
Descascaramiento	Se puede apreciar a distancia el acero expuesto	Descascaramiento en varios lugares sin ver acero	Descascaramiento puntual	No existe descascaramiento
Acero expuesto	Acero expuesto deformado y oxidado	Acero expuesto sano	Muy poco acero a la vista	No se ve acero
Socavación	Socavación de tamaño mayor a 10 cm	Socavación de tamaño menor a 10 cm	Socavación pequeña que no se pueden medir	No hay socavación
Inclinación	Inclinación $\delta^*$ > 5%	Inclinación $\delta < 5\%$	Inclinación $\delta$ existente mínima	No hay inclinación

\*  $\delta$  corresponde al ángulo de inclinación que existe entre el punto más alto del pilar y la base.

**Juntas de expansión:** Entre las fallas que se observan en este elemento se encuentran, sonidos excesivos por el paso vehicular, lo cual se puede atribuir a la separación de la junta por falta de adherencia, filtración de agua hacia los apoyos, juntas obstruidas por cualquier material que impida su movimiento y acero desgastado, desportillado o fisurado.

*Tabla 3-14 Junta de expansión*

<b>Tipo de Daño</b>	Alta	Media	Baja	No Existente
Sonidos extraños por el paso vehicular	Cada automóvil que pasa genera gran sonido	Solo los vehículos más pesados general sonido	Rara vez se escucha un sonido el cual es casi imperceptible	No hay sonidos extraños
Filtración de Agua	Gran cantidad de agua	Poca filtración, pero en varios lugares	filtración puntual	No existe filtración
Justas Obstruidas	Maleza, tierra y otros en casi todas las juntas	Maleza, tierra y otro en algunas juntas	Solo una o dos juntas poco obstruidas	No hay juntas obstruidas
Acero expuesto	Acero expuesto deformado y oxidado	Acero expuesto sano	Muy poco acero a la vista	No se ve acero

**Drenaje:** En el comienzo de la inspección es necesario localizar los drenajes con una pequeña descripción de su ubicación, es importante para la inspección identificar que tanto el drenaje longitudinal como el drenaje transversal funcione correctamente, algunas fallas encontradas en estos elementos pueden ser taponamiento, ausencia de drenaje y tamaño insuficiente para el caudal de agua que recibe el drenaje.

*Tabla 3-15 Drenaje*

<b>Tipo de Daño</b>	Alta	Media	Baja	No Existente
Taponamiento	Más del 80% tapado	Más del 40% tapado	Solo uno o dos taponamientos parciales	No hay taponamiento
Tamaño y espaciamiento*	pequeño o espaciamiento mayor a 20%	Mediano o espaciamiento mayor a 5%	Muy grande o espaciamiento menor al 5%	No existe drenaje

\* El porcentaje de espaciamiento es referido a la longitud total del puente.

**Apoyos:** Una inspección eficiente de los apoyos es de vital importancia para el correcto funcionamiento del puente. Los apoyos generalmente están expuestos a un alto grado de contaminación. Por lo tanto, es importante verificar cualquier tipo de deterioro que estos elementos puedan presentar, como también deformaciones excesivas, la correcta instalación de pernos y lubricación en el caso de apoyos móviles.

**Tabla 3-16 Apoyos**

<b>Tipo de Daño</b>	Alta	Media	Baja	No Existente
Deformación	Por colisión de vehículo más de 20%	Entre 10 y 20%	Comparando se nota la deformación	No hay deformación
Rotura de Elementos	mayor a 20%	Mediano o espaciamiento mayor a 5%	Muy grande o espaciamiento menor al 5%	No hay rotura
Pernos	Falta mayor a 30% de los pernos	Falta mayor a 10% de los pernos	Falta de uno o dos pernos	Existen todos los pernos en su lugar

**Vías:** Anteriormente se analizó la superficie de rodado, a diferencia de la vía, en esta sección se inspecciona la demarcación y luces existentes a lo largo del puente. Es necesario inspeccionar el estado de la pintura en sí, la ausencia de pintura no necesariamente indica un deterioro, sin embargo, la ausencia de una demarcación clara de cada vía, puede provocar accidentes, también así, la ausencia de retrorreflexión por sobre la pintura a cada costado de la vía.

**Tabla 3-17 Vías**

<b>Tipo de Daño</b>	Alta	Media	Baja	No Existente
Decoloración pintura	Más del 20%	Entre 10 y 20%	Solo en sectores localizados	No hay decoloración
luces rojas	Falta más del 20%	Falta entre 10 y 20%	Solo en sectores localizados	No hay perdida de luces

**Puente en General:** por último, en esta sección se resume toda la información recopilada, señalando en un par de líneas los daños más importantes encontrados en cada puente analizado. Además, en esta sección se presentan fotos con los daños más importantes presentes en el puente, para así, tener un respaldo de los daños más relevantes encontrados.

Al mismo tiempo, en esta sección se distinguirá si existe algún elemento antisísmico en la subestructura, por último, teniendo como respaldo las fotografías sacadas en terreno, se determinará cual es el riesgo hidráulico existente.

<b>Puente en General</b>

---

En resumen, cada uno de los deterioros encontrados se evalúa con *alto grado*, en los casos en que la sección a analizar este más del 50% destruida y/o este inmediatamente al borde de no cumplir su funcionalidad. *Grado medio*, se asigna a toda aquella sección del puente que este cercana a la mitad del deterioro admisible para su funcionalidad, y por lo tanto no sea posible determinar si puede o no dejar de ejercer su función en un futuro próximo. *Grado bajo* es predominante en los casos en que se vea claramente un daño específico en el elemento, pero este daño sea mínimo, y exista nula o baja probabilidad de dejar de funcionar óptimamente, pero que aún con el daño a la vista puede ocurrir que con el tiempo y sin ningún plan de mejoramiento aumente a tal punto que perjudique el funcionamiento del puente. Por último, *no aplica* es el grado asignado en los casos que no exista ningún tipo de daño en la categoría y el elemento en análisis. Estos deterioros quedan reflejados en el cálculo de BCI (3) donde ECI alto grado toma valor de 5, ECI de grado medio toma el valor de 3 y ECI de grado bajo toma el valor de 1. En la sección 4.3.3 más adelante, se muestra en detalle cómo se llega a determinar los pesos ( $w_i$ ) y factores del material ( $m_i$ ) para cada elemento.

---

## CAPÍTULO 4

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN DE PUENTES

### 4.1 Elección del método de priorización

En el marco teórico fueron señalados cuatro índices de priorización propuestos por diversos autores y que fueron utilizados para distintos tipos de inspección, dependiendo de la cantidad de recursos existentes para la realización de la inspección y del nivel de detalle requerido. A continuación, se verán las ventajas y desventajas que presenta la propuesta elegida para esta investigación:

#### 4.1.1 (Valenzuela, Solminihac, & Echaveguren, Proposal of an Integrated Index for Prioritization of Bridge Maintenance, 2010)

Valenzuela et al. desarrollaron un índice que es de fácil uso para un estudio de inspección únicamente visual, este es presentado como una ayuda para el mantenimiento y rehabilitación de puentes, presentando una sumatoria que es posible modificar para cada tipo de estudio, añadiendo o removiendo elementos en el análisis.

Esta metodología toma en cuenta; la importancia estratégica (SI), la condición del puente (BCI), el riesgo hidráulico (HV) y el riesgo sísmico (SR). La importancia estratégica toma en cuenta elementos como tráfico, entorno social, dimensiones del puente y restricción de carga, de manera de determinar las características básicas del puente a analizar.

### 4.2 Puentes seleccionados para el análisis

Hoy en día en Chile, existen unos 7000 puentes, de los cuales 1064 son puentes con longitudes mayores a 30 metros y administrados por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. En la Tabla 4-1 se aprecia en detalle la cantidad de puentes existentes por región y a cuantos metros lineales corresponden.

*Tabla 4-1 Puentes a lo largo de Chile*

<b>Región</b>	<b>N° Puentes</b>	<b>metros lineales</b>	<b>Región</b>	<b>N° Puentes</b>	<b>metros lineales</b>
<b>Arica y Parinacota</b>	7	643	<b>Maule</b>	140	11,889
<b>Tarapacá</b>	5	297	<b>Biobío</b>	146	16,663
<b>Antofagasta</b>	7	366	<b>Araucanía</b>	157	10,956

Región	N° Puentes	metros lineales	Región	N° Puentes	metros lineales
Atacama	15	1,114	Los Ríos	83	5,783
Coquimbo	52	3,412	Los Lagos	161	10,004
Valparaíso	53	5,329	Aysén	100	5,200
Metropolitana	59	6,706	Magallanes	14	1,022
O'Higgins	65	7,494	<b>Total</b>	<b>1,064</b>	<b>86,876</b>

Para esta investigación se tomaron los 53 puentes de la región de Valparaíso, de los cuales solo se pudo hacer el análisis de 45 de ellos, esto por la lejanía de algunos puentes al sur de la región y, además por complicaciones al buscar la ubicación dada por la Dirección de Vialidad. A continuación, se presenta la lista de los 45 puentes analizados, a lo largo de las siete provincias que constituyen la región de Valparaíso.

*Tabla 4-2 Puentes en análisis*

Provincia	Nombre del Puente	Provincia	Nombre del Puente
Los Andes	Mina Caracoles	Quillota	Lo Castro
Los Andes	Pocuro	San Antonio	El Yugo 2
Los Andes	Rio Blanco 1	San Antonio	El Yugo 1
Los Andes	Rio Blanco 2	San Antonio	San Sebastián
Marga-Marga	Valle Alegre	San Antonio	San Gerónimo
Marga-Marga	Colmo	San Antonio	Seminario
Marga-Marga	Pelumpen	San Antonio	Córdova
Marga-Marga	Lo Gamboa	San Antonio	Lo Gallardo
Petorca	Senador Alfredo Celda Jaraquemada	San Antonio	Lo Abarca
Petorca	Pedegua	San Felipe	Tres Esquinas
Petorca	Los Olmos	San Felipe	David García
Petorca	La Higuera	San Felipe	Lo Vicuña
Petorca	Illalolen	San Felipe	Chagres
Petorca	Petorca	San Felipe	Don Bosco
Petorca	Ventanas	Valparaíso	Calera
Petorca	Pasarela La Laguna	Valparaíso	San Pedro

<b>Provincia</b>	<b>Nombre del Puente</b>	<b>Provincia</b>	<b>Nombre del Puente</b>
<b>Petorca</b>	Catapilco	Valparaíso	Marga-Marga
<b>Petorca</b>	Santa Julia	Valparaíso	El Manzano
<b>Petorca</b>	Las Gaviotas	Valparaíso	Los Azules
<b>Petorca</b>	Concón	Valparaíso	Lo Orozco
<b>Quillota</b>	Boco	Valparaíso	La Draga
<b>Quillota</b>	Carretón	Valparaíso	Limache
<b>Quillota</b>	Rabuco	Valparaíso	19 De junio

### 4.3 Itinerario a seguir

Cada día se inspeccionaron entre uno a cuatro puentes para tener el tiempo suficiente de hacer una correcta evaluación de los daños, al mismo tiempo, es necesario señalar que la distancia entre cada uno de los puentes a inspeccionar el mismo día no distaba más de 16 km. Se recomienda que cada inspección no debiese tomar más de 45 minutos.

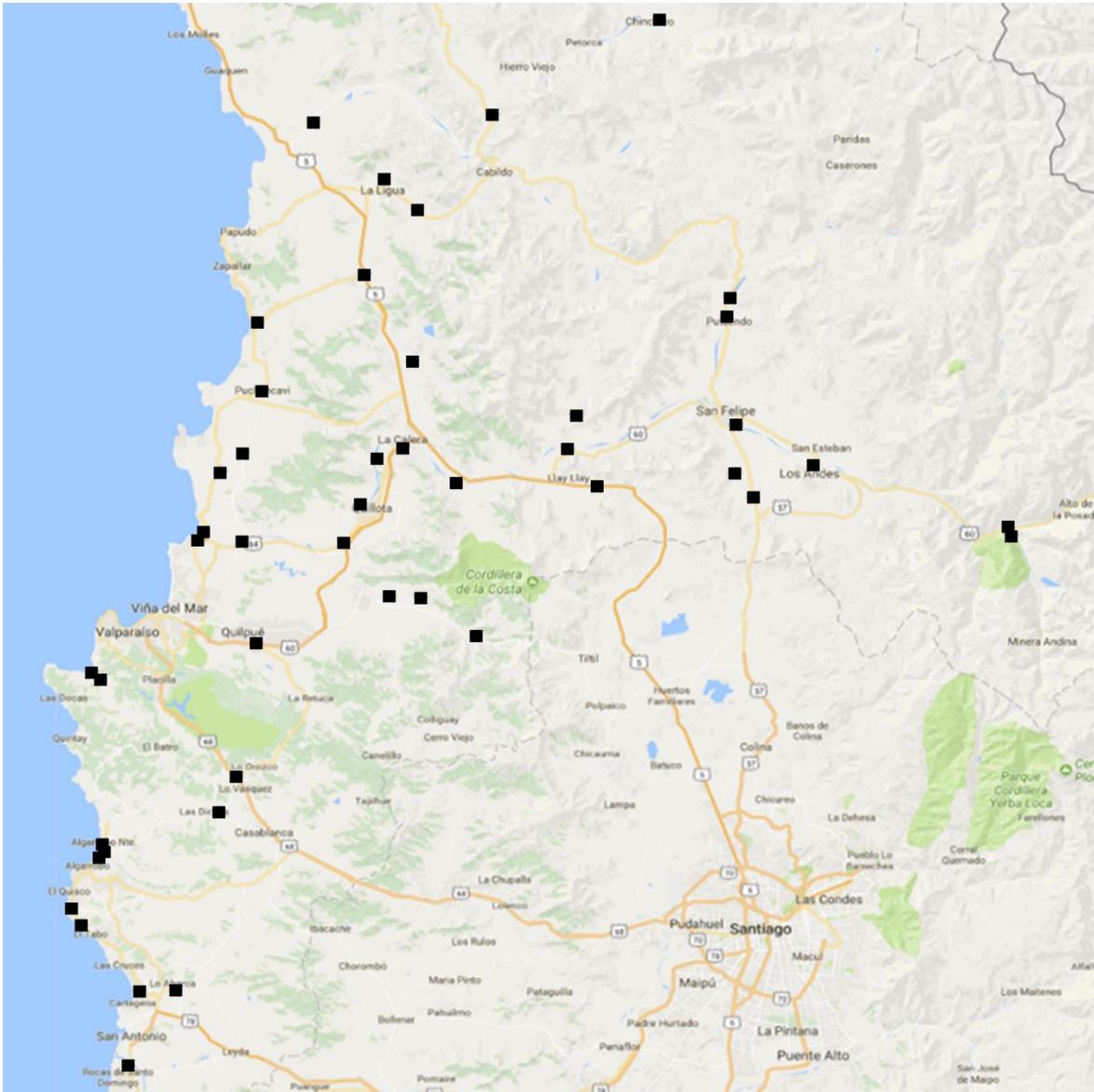
*Tabla 4-3 Planificación de inspección*

<b>Día</b>	<b>Nombre del Puente</b>	<b>Provincia</b>	<b>Nombre del Puente</b>
<b>09-09</b>	Boco	<b>14-10</b>	La Higuera
<b>09-09</b>	Lo Rojas	<b>14-10</b>	Illalolen
<b>13-09</b>	El Manzano	<b>16-10</b>	Lo Orozco
<b>13-09</b>	Los Azules	<b>16-10</b>	Marga-Marga
<b>16-09</b>	San Pedro	<b>18-10</b>	Lo Castro
<b>23-09</b>	San Gerónimo	<b>18-10</b>	Lo Gamboa
<b>23-09</b>	El Yugo 1	<b>18-10</b>	Pelumpen
<b>23-09</b>	El Yugo 1	<b>21-10</b>	Rio Blanco 1
<b>25-09</b>	Seminario	<b>21-10</b>	Rio Blanco 2
<b>25-09</b>	Córdova	<b>21-10</b>	David García Este
<b>27-09</b>	San Sebastián	<b>21-10</b>	David García Oeste
<b>27-09</b>	Lo Abarca	<b>22-10</b>	Sin Nombre San Feline
<b>27-09</b>	Lo Gallardo	<b>23-10</b>	Lo Vicuña
<b>06-10</b>	Concón	<b>23-10</b>	Tres Esquinas

<b>Día</b>	<b>Nombre del Puente</b>	<b>Provincia</b>	<b>Nombre del Puente</b>
<b>06-10</b>	Colmo	<b>23-10</b>	Mina Caracoles
<b>06-10</b>	Limache	<b>23-10</b>	Pocuro
<b>09-10</b>	Las Gaviotas	<b>27-10</b>	Carretón
<b>09-10</b>	San Julia	<b>27-10</b>	19 De junio
<b>09-10</b>	Valle Alegre	<b>27-10</b>	Rabuco
<b>09-10</b>	Ventana	<b>27-10</b>	Calera
<b>13-10</b>	Los Olmos	<b>28-10</b>	Don Bosco
<b>13-10</b>	Pedegua	<b>28-10</b>	Chagres
<b>13-10</b>	Senador Alfredo Celda		

Cabe señalar que el puente Lo Rojas no corresponde a una vía vehicular, sino que era un puente peatonal. Además, durante la campaña en terreno, el puente Pelumpen estaba en proceso de reconstrucción, lo cual hizo que no fuera posible su inspección. Sin embargo, se tuvo que llegar al lugar para conocer la situación en la que se encontraba. Por último, el puente sin nombre ubicado en San Felipe no pudo ser localizado con las indicaciones que dio la Dirección de Vialidad. Estos puentes si se agregaron al itinerario, dado que se hizo la salida a terreno correspondiente, sin embargo, no pudieron ser parte de los datos del análisis.

A continuación, en la Figura 4-1 se muestra un mapa de la Región de Valparaíso, donde se representa cada uno de los puentes analizados.



*Figura 4-1 Mapa Con los puentes inspeccionados. Fuente: Google Maps*

#### 4.4 Descripción general del método de priorización

En esta sección se detallan uno a uno los parámetros del método de priorización, con sus respectivas escalas de medición. El índice integrado para la priorización de puentes (IBI) consta de cuatro parámetros principales como se especificó en la sección 2.5.1.

##### 4.4.1 Importancia estratégica

Como fue explicado anteriormente la importancia estratégica tiene seis parámetros que la conforman, estos parámetros necesitan ser cuantificados bajo una pauta al momento de realizar la inspección visual. A continuación, se muestra las tablas de clasificación para los seis parámetros.

#### 4.4.1.1 EA índice de rutas alternativas

*Tabla 4-4 Índice de rutas alternativas*

Tipo de deterioro	Clasificación	Descripción
<b>Estructura en paralelo</b>	1	Existe una estructura cercana al puente. Donde el flujo de tráfico es similar y no hay retraso.
<b>Estructura o camino en paralelo</b>	2	Existe una estructura cercana al puente. Esta permite el flujo de tráfico con congestión. El tiempo de viaje y costes de usuario de la carretera no cambian
<b>Desviación larga</b>	3	Ruta alternativa a menos de 10 km, aumenta el tiempo de viaje y costos de usuario de la carretera. Congestión menor es observado en el puente
<b>Desviación muy larga</b>	4	Existe ruta alternativa a más de 10 km
<b>Sin desviación</b>	5	No existe ruta alternativa

#### 4.4.1.2 *T* es índice promedio anual de tráfico diario

Este índice será estimado con el flujo vehicular que se ve en terreno.

*Tabla 4-5 Tráfico medio diario anual*

nivel de tráfico	Clasificación
<b>bajo (TDMA&lt;2000)</b>	1
<b>medio (2000&lt;TDMA&lt;3000)</b>	3
<b>alto (TMDA&gt;3000)</b>	5

#### 4.4.1.3 *SEE* es el índice de entorno social y económico

El análisis realizado es específicamente en la quinta región del país por lo cual solo se tomará en cuenta el entorno social y económico de la zona central

*Tabla 4-6 Nivel del puente según zona y actividad económica*

Zona de Chile	Clasificación	Actividad económica
<b>Centro</b>	1	Industria, vitivinícola y
	3	agricultura
	5	Minería y pesca
		Otro

#### 4.4.1.4 *W* y *L* son ancho y largo respectivamente

Puentes con una sola vía o que produzca problema el paso de vehículos en sentido contrario disminuye el factor de ancho.

*Tabla 4-7 Factor de ancho del puente*

Calificación del ancho	Clasificación	Descripción
<b>Insatisfactorio</b>	1	El puente tiene uno vía con constantes problemas por el paso vehicular en ambos sentidos
<b>Satisfactorio</b>	3	Dos vías del puente: vías estrechas producen el paso restringido de vehículos
<b>Muy satisfactorio</b>	5	Dos vías del puente: el paso restringido no existe.

El largo del puente fue medido con la aplicación *Google Maps*.

*Tabla 4-8 Factor de largo del puente*

Largo [m]	Clasificación	Tipo de puente
<b>&lt;30</b>	1	muy corto
<b>30&lt;L&lt;50</b>	2	Corto
<b>50&lt;L&lt;150</b>	3	Regular
<b>150&lt;L&lt;300</b>	4	Largo
<b>L&gt;300</b>	5	Muy largo

#### 4.4.1.5 *R* es el índice de restricción de carga

*Tabla 4-9 Factor de restricción de carga*

Tipo de restricción	Clasificación	Descripción
<b>Alta restricción</b>	1	El paso no es posible para ningún tipo de camión pesado
<b>Mediana restricción</b>	3	El paso no es posible para vehículos muy pesados: si es posible para otros vehículos
<b>Sin restricción</b>	5	El paso es posible para todo tipo de vehículos

Estos seis elementos que constituyen la importancia estratégica serán registrados en la sección información básica del puente, al comienzo de la inspección visual.

#### 4.4.2 Riesgo hidráulico del puente (HV)

El nivel de riesgo hidráulico será visto en terreno y apuntado en la sección puente en general, teniendo como respaldo fotografías del cauce y la maleza u otro elemento que pueda ser un potencial obstáculo para el paso del agua.

*Tabla 4-10 Factor de riesgo hidráulico*

Clasificación		Descripción
5	ninguna	No hay probabilidad de falla por la fuerza del río
4	Bajo	Es altamente improbable que el puente falle, cauce con poca agua y/o poca o nada de maleza
3	Medio	Es probable que el puente falle, cauce con agua y/o maleza en mediana medida
2	Alto	Es muy probable que el puente falle, cauce con mucha agua y/o mucha maleza
1	Muy alto	El puente está en inminente peligro de fallar. Agua al borde de rebalse y/o maleza impidiendo el paso casi total del agua.

#### 4.4.3 Riesgo sísmico del puente (SR)

Al igual que el riesgo hidráulico, este será registrado en la sección puente en general, incluyendo específicamente que elementos antisísmicos se ven presentes en la subestructura y teniendo como respaldo fotografías de cada uno de los elementos

*Tabla 4-11 Factor de riesgo sísmico*

Clasificación	Nivel de daño		Descripción
5	0-20	ninguna	Existe llave de corte exterior e interior y barras de acero
4	20-40	Bajo	Existe llave de corte solo exterior y barras de acero.
3	40-60	Medio	Existe llave de corte solo interior y barras de acero.
2	60-80	Alto	No existe llave de corte, pero si barras de acero, tampoco existen apoyos elastomérico.
1	80-100	Muy alto	No existe ningún mecanismo antisísmico (llaves de corte, barras de acero y diafragmas)

#### 4.4.4 Condición del puente (BCI)

La parte que mayor información requiere dentro de la inspección es desde luego, la condición del puente donde cada una de las tablas generadas en la pauta de inspección hace referencia a una parte importante del puente.

$w_i$ : Para tener una misma línea de evaluación es importante determinar el peso que tiene cada elemento, con respecto a toda la estructura, dichos pesos van desde 1 a 5 y se presenta en la siguiente tabla:

*Tabla 4-12 Peso del elemento  $i$  respecto de la estructura completa*

Elemento	Peso ( $w_i$ )	Elemento	Peso ( $w_i$ )
<b>Pavimento</b>	2	<b>Junta de expansión</b>	4
<b>Viga principal</b>	5	<b>Drenaje</b>	2
<b>Baranda</b>	2	<b>Apoyos</b>	3
<b>Estribos</b>	3	<b>Cables</b>	5
<b>Arco</b>	3	<b>Armadura</b>	4
<b>Pilares</b>	4		

$m_i$ : Los materiales tomados en cuenta por Valenzuela et al. (2010) son solo tres, por lo cual, plástico y asfalto deben entrar en la categoría de otro material.

*Tabla 4-13 factor de material del elemento*

material	factor $m_i$
<b>Hormigón Armado</b>	2
<b>Acero</b>	3
<b>Madera</b>	4
<b>Otro material</b>	1,5

$ECI_i$ : Está estrechamente ligada con la inspección en sí, tomando en cuenta cada una de las características que se inspecciona para cada elemento, se determina un promedio ponderado para establecer el grado de daño de cada elemento, es decir, que toda característica de un mismo elemento toma el mismo peso en dicho elemento, indicando con un solo número el daño presente en el elemento. La inspección realizada en terreno y reflejada en la pauta de inspección solo representa los elementos en peor estado del puente visto, por lo cual, si un puente presenta más de un elemento, por ejemplo, una columna por apoyo, solo se pondrá en la pauta de inspección la peor de las columnas de todo el puente, y por tanto ésta será el elemento representativo en el cálculo del ECI para todas las columnas del puente.

#### 4.5 Cálculo del IBI

A modo de ejemplo se presenta a continuación las tablas de inspección realizadas para el puente Boco, primer puente inspeccionado. Donde se comienza presentando la información básica del puente, para luego finalizar con una pequeña descripción de los daños encontrados y sus respectivas fotografías.

#### 4.5.1 Puente Lo Boco

Información básica	
Nombre del Puente	Lo Boco
Número de Ruta	F-360
Kilometro	0
Ubicación	Quillota
Coordenadas Geográficas	32,87638S; 71,26700O
Tipo de Estructura	Puente de arco
Tipo de Superficie de Rodado	Asfalto
Tipo de Material	Hormigón
Tipo de Junta de expansión	Junta abierta
Tipo de Baranda	Acero
Tipo de Apoyo	Apoyo deslizante
Tipo de Estribos	Hormigón
Longitud Total	284 metros
Ancho Total	7 metros
Número de Vanos	15
Número de Vigas	4
Restricciones (carga, altura o ancho)	Ninguna
Ruta en paralelo	No existe ruta cercana
TMDA	Menor de 2000

Fecha	09-09-2017
Inspector	Nicol Díaz Vallejos

fotografía general:



*Figura 4-2 Vista general puente Boco*

Pavimento	
Asfalto	ir a Tabla A
Hormigón	ir a Tabla B

Tabla A	Alta	Media	Baja	No Aplica
Superficie Afectada	x			
Deformación				x
Grietas				x
Baches u hoyos	x			

Tabla B	Alta	Media	Baja	No Aplica
Superficie Afectada				
Grieta en una o más direcciones				
Acero expuesto				
Baches u hoyos en la Losa				

Viga principal	
Acero	ir a Tabla C
Hormigón	ir a Tabla D

Tabla C	Alta	Media	Baja	No Aplica
Oxidación				
Corrosión				
Deformación				
Perdida de Pernos				

Tabla D	Alta	Media	Baja	No Aplica
Superficie Afectada				x
Grieta en una o más direcciones				x
Acero expuesto				x

Descascaramiento				x
------------------	--	--	--	---

Baranda		Figura 4-3
Acero	ir a Tabla E	
Hormigón	ir a Tabla F	

Tabla E	Alta	Media	Baja	No Aplica
Deformación			X	
Oxidación	x			
Corrosión		x		

Tabla F	Alta	Media	Baja	No Aplica
Agrietamiento				
Acero expuesto				
Descascaramiento				

Estribos	
Acero	ir a Tabla G
Hormigón	ir a Tabla H

Tabla G	Alta	Media	Baja	No Aplica
Deformación				
Oxidación				
Corrosión				
Asentamiento				

Tabla H	Alta	Media	Baja	No Aplica
Agrietamiento				x
Acero expuesto				x
Descascaramiento				x
Asentamiento				x

Arco	
Acero	ir a Tabla I
Hormigón	ir a Tabla J

Tabla I	Alta	Media	Baja	No Aplica
Deformación				
Oxidación				
Corrosión				
Asentamiento				
Fisura a lo largo del cordón de soldadura				

Tabla J	Alta	Media	Baja	No Aplica
Agrietamiento				x
Acero expuesto				x
Descascaramiento				x

Iluminación	
Tipo	Solar
Observaciones	Se encuentra en buenas condiciones

<b>Señalización</b>	
Tipo	Ninguna a la vista
Observaciones	Es necesario instaurar señalización de peso máximo y velocidad máxima

<b>Pilares</b>	
Tipo	Muro de hormigón
Forma	Rectangular del ancho del puente
Observaciones	Columnas con forma de muro dado que existe solo uno por tramo.

<b>Pilares</b>	Alta	Media	Baja	No Aplica
Grieta en una o más direcciones				x
Descascaramiento				x
Acero Expuesto				x
Socavación				x
Inclinación				x

<b>Junta de expansión</b> Figura 4-5	Alta	Media	Baja	No Aplica
Sonidos extraños por el paso vehicular			x	
Filtración de Agua				x
Justas Obstruidas			x	
Acero roto		x		

<b>Drenaje</b>	Alta	Media	Baja	No Aplica
Taponamiento				x
Tamaño		x		

<b>Apoyos</b> Figura 4-6	Alta	Media	Baja	No Aplica
Deformación				x
Rotura de Elementos				x
Pernos				x

<b>Vía</b> Figura 4-4	Alta	Media	Baja	No Aplica
Decoloración pintura			x	
luces rojas			x	

## Puente en General

Se presentan grietas y daño en la junta de expansión.  
Las barandas están muy oxidadas, pero la corrosión no está en gran medida.

Iluminación en muy buen estado



*Figura 4-3 Baranda de acero*



*Figura 4-4 Decoloración línea en la vía*



*Figura 4-5 Junta de expansión rota*



*Figura 4-6 apoyos fijos*

En la Tabla 4-14 se muestra a modo de resumen todos los puentes en estudio con sus respectivos valores de: Importancia estratégica (SI), Riesgo hidráulico (HV), Riesgo sísmico (SR) y Condición del puente (BCI), para finalizar con su índice IBI, que será explicado más adelante. Dada la extensión de este análisis para cada uno de los puentes en estudio, en el Anexo A se puede encontrar la tabla de inspección realizada para cada puente.

*Tabla 4-14 Resumen de cada parámetro para el cálculo de IBI*

	<b>Puente</b>	<b>EA</b>	<b>T</b>	<b>SEE</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>R</b>	<b>SI</b>	<b>HV</b>	<b>SR</b>	<b>BCI</b>	<b>IBI</b>
<b>1</b>	Boco	5	1	5	5	4	5	4,038	4	1	4,177	<b>5,954</b>
<b>2</b>	El manzano	5	1	3	5	2	5	3,386	4	3	4,367	<b>7,365</b>
<b>3</b>	Los azules	5	1	5	3	2	5	3,586	3	3	4,588	<b>6,822</b>
<b>4</b>	San Pedro	1	3	5	3	2	5	2,958	4	3	4,121	<b>7,208</b>
<b>5</b>	San Gerónimo	5	3	1	3	2	5	3,226	3	2	4,282	<b>6,103</b>
<b>6</b>	El yugo 1	5	3	1	5	1	5	3,279	4	5	4,385	<b>8,345</b>
<b>7</b>	El yugo 2	5	1	1	5	1	5	2,867	5	3	4,341	<b>8,282</b>
<b>8</b>	Seminario	5	5	1	5	3	5	3,957	5	1	3,383	<b>5,708</b>
<b>9</b>	Córdoba	2	5	1	3	3	5	2,991	4	3	3,745	<b>6,708</b>
<b>10</b>	San Sebastián	2	3	1	5	2	5	2,632	3	4	4,327	<b>7,304</b>
<b>11</b>	Lo Abarca	4	5	5	5	3	5	4,469	5	4	4,103	<b>7,822</b>
<b>12</b>	Lo gallardo	5	5	1	5	5	5	4,223	2	4	4,372	<b>6,003</b>
<b>13</b>	Concón	3	5	5	5	4	5	4,342	2	1	4,159	<b>4,307</b>
<b>14</b>	Colmo	3	1	1	3	5	5	2,693	5	1	4,385	<b>7,489</b>
<b>15</b>	Limache	4	5	1	5	1	5	3,431	4	1	4,405	<b>6,481</b>
<b>16</b>	Las Gaviotas	5	5	5	5	3	5	4,729	3	1	4,579	<b>5,461</b>
<b>17</b>	Santa Julia	4	3	5	5	3	5	4,057	4	4	4,374	<b>7,577</b>
<b>18</b>	Valle alegre	4	1	5	5	3	5	3,645	2	2	4,664	<b>5,686</b>
<b>19</b>	Ventana	4	5	5	5	2	5	4,336	4	2	4,089	<b>6,184</b>
<b>20</b>	Los Olmos	2	1	5	1	2	5	2,620	4	1	3,500	<b>5,614</b>
<b>21</b>	Pedegua	5	1	5	1	5	5	3,799	4	3	3,933	<b>6,645</b>
<b>22</b>	Senador Alfredo Celda Jaraquemada	2	1	1	5	4	5	2,486	5	4	4,579	<b>9,195</b>
<b>23</b>	La Higuera	3	3	5	5	3	5	3,797	5	4	4,196	<b>8,199</b>
<b>24</b>	Illalolen	1	3	5	1	3	5	2,905	5	5	4,128	<b>8,908</b>
<b>25</b>	Lo Orozco	5	5	1	3	2	5	3,638	4	5	4,516	<b>8,379</b>
<b>26</b>	Marga-marga	5	5	5	3	2	5	4,410	3	4	4,489	<b>6,839</b>
<b>27</b>	Lo Castro	1	3	5	5	1	5	3,011	2	3	4,506	<b>6,180</b>
<b>28</b>	Lo Gamboa	1	3	5	1	3	5	2,905	3	3	4,355	<b>6,778</b>
<b>29</b>	Rio Blanco 1	5	1	3	5	2	5	3,386	2	1	3,283	<b>3,533</b>
<b>30</b>	Rio Blanco 2	5	1	3	3	2	5	3,200	3	1	3,383	<b>4,488</b>
<b>31</b>	David García este	1	5	1	5	3	5	2,917	3	1	4,484	<b>6,025</b>
<b>32</b>	David García oeste	1	5	1	5	3	5	2,917	3	4	4,635	<b>7,595</b>
<b>33</b>	Lo Vicuña	1	3	5	1	2	3	2,544	5	5	4,052	<b>8,945</b>
<b>34</b>	Tres Esquinas	2	5	1	5	4	5	3,31	4	4	4,714	<b>8,303</b>

---

	<b>Puente</b>	<b>EA</b>	<b>T</b>	<b>SEE</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>R</b>	<b>SI</b>	<b>HV</b>	<b>SR</b>	<b>BCI</b>	<b>IBI</b>
<b>35</b>	Mina Caracoles	2	1	5	3	2	5	2,806	3	4	3,902	<b>6,685</b>
<b>36</b>	Pocuro	1	5	5	3	2	5	3,37	3	3	4,103	<b>6,274</b>
<b>37</b>	Carretón	5	1	5	1	2	5	3,4	3	3	3,950	<b>6,064</b>
<b>38</b>	19 de junio	1	5	5	5	3	5	3,689	2	1	4,231	<b>4,649</b>
<b>39</b>	Rabuco	4	1	5	1	2	5	3,14	2	1	4,040	<b>4,610</b>
<b>40</b>	Calera	3	5	1	5	2	5	3,304	5	4	4,630	<b>8,949</b>
<b>41</b>	Don Bosco	3	1	5	1	2	5	2,88	4	4	4,382	<b>8,035</b>
<b>42</b>	Chagres	5	5	5	1	5	5	4,623	1	1	3,358	<b>2,407</b>
<b>43</b>	S/N (SAN FELIPE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>44</b>	Lo Rojas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>45</b>	Pelumpen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

---

## CAPITULO 5

# ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO

### 5.1 Resultados de la Priorización

Como se puede ver en la Tabla 5-1, existen tres puentes que por motivos de fuerza mayor no pudieron ser examinados, como por ejemplo el puente Pelumpen que no existía al momento de la inspección porque estaba en periodo de reposición.

Los resultados se presentan ordenados de menor a mayor índice IBI. Se observa que la mayoría de los resultados indican valores del índice IBI sobre 6, lo cual refleja que la mayoría de los puentes de la red analizada se encuentran en buen estado. Por el contrario, los puentes Chagres y Rio Blanco 1, al tener un bajo valor del índice IBI, estarían en peor condición, debido a varios factores, principalmente, a un elevado daño de elementos como baranda o junta de expansión y alto riesgo hidráulico y sísmico, por presencia de maleza y gran cauce, y la ausencia de elementos sismorresistentes, respectivamente. Estos dos puentes, al tener una elevada importancia estratégica (SI) hace que decaiga aún más su índice IBI. En contraparte, el puente Senador Alfredo Celda Jaraquemada tiene el mayor índice combinado, con un resultado de 9,195, resultado que también refleja que este puente tiene una baja importancia estratégica.

*Tabla 5-1 Índice integrado para la priorización de puentes*

<b>Puente</b>	<b>IBI</b>	<b>Puente</b>	<b>IBI</b>
<b>Chagres</b>	2,407	<b>Córdova</b>	6,708
<b>Rio Blanco 1</b>	3,533	<b>Lo Gamboa</b>	6,778
<b>Concón</b>	4,307	<b>Los Azules</b>	6,822
<b>Rio Blanco 2</b>	4,488	<b>Marga-marga</b>	6,839
<b>Rabuco</b>	4,610	<b>San Sebastián</b>	7,304
<b>19 de junio</b>	4,649	<b>El manzano</b>	7,365
<b>Las Gaviotas</b>	5,461	<b>Colmo</b>	7,489
<b>Los Olmos</b>	5,614	<b>Santa Julia</b>	7,577
<b>Valle alegre</b>	5,686	<b>David García oeste</b>	7,595
<b>Seminario</b>	5,708	<b>Lo Abarca</b>	7,822
<b>Boco</b>	5,954	<b>Don Bosco</b>	8,035
<b>Lo gallardo</b>	6,003	<b>La Higuera</b>	8,199
<b>David García este</b>	6,025	<b>El yugo 2</b>	8,282
<b>Carretón</b>	6,064	<b>Tres Esquinas</b>	8,303
<b>San Gerónimo</b>	6,103	<b>El yugo 1</b>	8,345
<b>Lo Castro</b>	6,180	<b>Lo Orozco</b>	8,379
<b>Ventana</b>	6,184	<b>Illalolen</b>	8,908
<b>Pocuro</b>	6,274	<b>Lo Vicuña</b>	8,945
<b>San Pedro</b>	6,343	<b>Calera</b>	8,949

Puente	IBI	Puente	IBI
Limache	6,481	Senador Alfredo Celda Jaraquemada	9,195
Pedegua	6,645	S/N	-
Mina Caracoles	6,685	Lo Rojas	-
		Pelumpen	-

### 5.1.1 IBI (Índice Integrado de Puente)

En el Gráfico 1 es posible apreciar que solo el 5% del total de los puentes estudiados no cumplió con los requerimientos mínimos de IBI. Cabe mencionar de igual manera que la mitad de los puentes en estudio estuvieron en el rango entre 6 y 8, así en promedio los puentes tuvieron un índice de 6,65 y una mediana de 6,66, por lo cual se podría inducir que la dispersión de los datos sigue una distribución normal al tener una media y una mediana tan parecida.

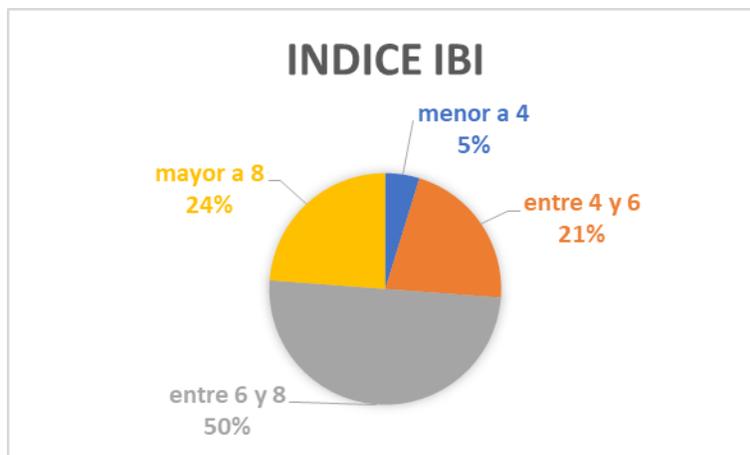
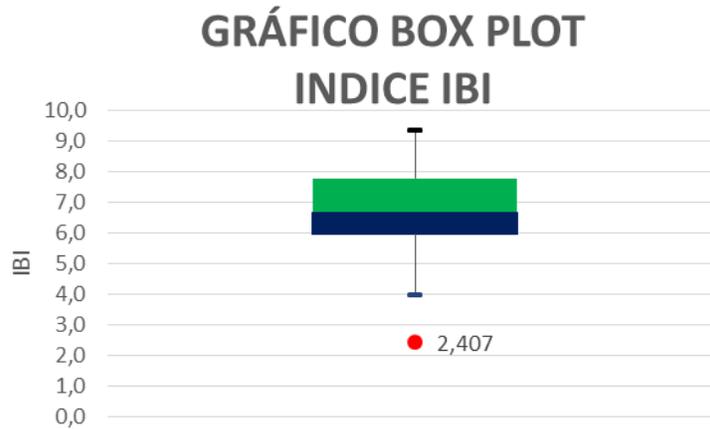


Gráfico 1 Índice IBI por rangos

El Gráfico 2, es un gráfico de Box plot de los índices IBI tomados de los 42 puentes en estudio, donde el primer cuartil se encuentra en 5,97 y el tercer cuartil se encuentra en 7,77, además se aprecia que todos los datos se encuentran entre los límites inferior y superior, a excepción del puente Chagres, el cual puede ser clasificado como un dato atípico. Por la forma que toma el gráfico de caja se podría decir que los datos presentan una distribución normal.



*Gráfico 2 Box plot de índice IBI*

Dentro del análisis del IBI se encuentra el factor asociado a la Importancia estratégica (SI), el cual representa, como su nombre lo indica, la importancia que presenta el puente en estudio dentro de la red vial. Lo anterior se ve plasmado en que este factor toma parámetros como:

- Rutas alternativas: si existe un corte de la vía por un eventual derrumbe o reparación es necesario saber a qué distancia existe una ruta en paralelo que me lleve al mismo destino.
- Promedio anual de tráfico diario: este es un indicador de importancia de la vía ya que me muestra la cantidad de tráfico que existe en la vía en promedio en el día.
- Largo y ancho del puente: se utiliza para estimar la magnitud de un eventual arreglo en caso de que se requiera reparación o reposición de la estructura.

#### 5.1.2 SI (Importancia Estratégica)

La importancia estratégica es clave a la hora de decidir cuál puente obtiene mayor priorización cuando los puentes presentan niveles de daño similares. En el Gráfico 3 se aprecia una situación similar al gráfico anterior (Gráfico 1), en los rangos menores de SI se encuentra el 0% de los datos, mientras que la mayoría de los datos se encuentra en el rango de SI entre 3 y 4, es decir, el 45% de los datos tienen una importancia alta dentro de la red vial, esto conlleva a que todos estos puentes con alta importancia tengan de por sí que estar en un buen estado.

Como se aprecia en la ecuación (1) si un puente presenta un alto SI, trae como consecuencia que su índice IBI sea más bajo que un puente con los mismos daños y una menor importancia estratégica, es por este motivo que los puentes que presenten un mayor SI tengan una inmediata gestión de mantenimiento frente a un nivel de daño no tan severo.



Gráfico 3 Índice SI por rangos

En el Gráfico 4 se presenta nuevamente el índice IBI por rangos. Sin embargo, en este caso se tomaron solo los datos con un SI mayor a 3 es decir 28 puentes que representan el 67% del total. Esta elección se basa en que todo puente con un SI mayor a 3 representa un elemento de gran importancia dentro de la red vial, es más, si analizamos la ecuación (1), se puede ver que este parámetro disminuye el índice IBI, por lo cual sería de esperar que un alto grado de importancia estratégica tenga valores bajos de IBI. A pesar de esto, los resultados indican que la mayoría de los puentes con un alto SI también tienen un alto valor IBI (mayor a 6), lo cual demuestra que a pesar de que la importancia estratégica disminuye el índice IBI, los otros parámetros, tales como el riesgo hidráulico, riesgo sísmico o condición del puente están correlacionados con la importancia estratégica, de tal manera que el índice IBI aumenta en vez de disminuir al aumentar el SI.

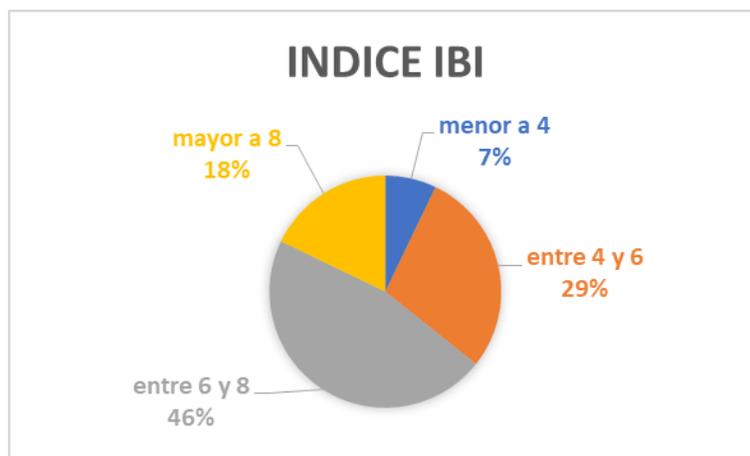


Gráfico 4 Índice IBI de datos con SI significativo

## 5.2 Distribución por Tipo de Elemento

Tomando en cuenta el total de los datos en análisis, en el Gráfico 5, se muestra cada uno de los elementos analizados para cada puente: Pavimento, viga, baranda, estribo, arco, pilares, junta de expansión, drenaje, apoyos y vía. En la pauta de inspección, cada elemento fue evaluado mediante un promedio de las tres o cuatro características vistas en la tabla de cada elemento y a esto se le designa

---

el nombre de ECI (3) , como se explicó anteriormente el método dice que ECI puede tomar valores entre 1 y 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno, y con este valor es posible encontrar la condición del puente BCI.

Ahora se analizará cada rango de IBI con respecto al promedio ECI encontrado. Vemos que el estado del pavimento se ve reflejada en la primera y última columna como pavimento y vía. Mientras menor es el índice IBI, la calidad del pavimento es peor, se puede ver en el Gráfico 5 que las columnas azules que representan los puentes con un índice IBI menor a 4 presentan en promedio un bajo nivel ECI y en contraste las columnas amarillas presentan un ECI mucho mayor, es decir, a mayor IBI mayor es su ECI.

La segunda y séptima columna muestran el estado de la viga y junta de expansión, donde la relación lineal existente entre ECI e IBI no es tan pronunciada como en el caso anterior mencionado, sin embargo, es indiscutible ver que al disminuir el índice IBI el estado de los elementos empeora, sobre todo en el último tramo (columna azul).

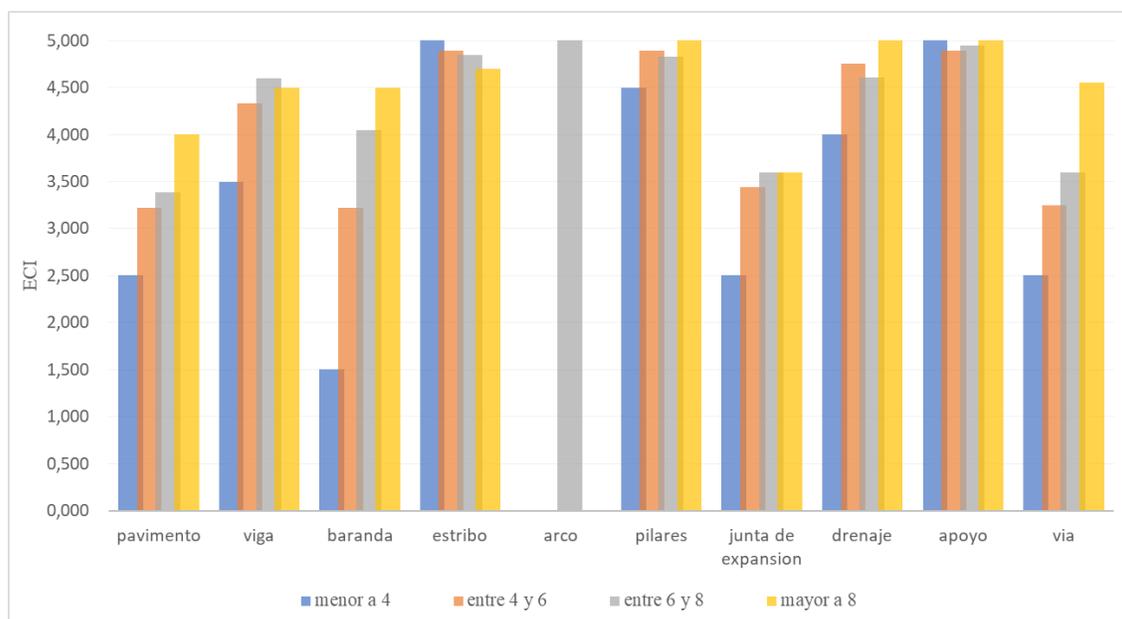
Las barandas en mayor medida que la vía presentan una acentuada relación entre el índice IBI, y el estado que presentan estos elementos, según su ECI.

Los estribos, son los únicos elementos que presentan la singularidad de disminuir su índice ECI a medida que aumenta su índice IBI, esto no es de esperance, sin embargo, también es notorio que en general el ECI de los estribos es bastante bueno no bajando nunca de 4,5 en las cuatro categorías de IBI.

Los pilares y apoyos en general no tienen ninguna relación evidente, dado que estos dos elementos se encuentran en muy buen estado independiente del índice que presente el puente, estando todos los ECI sobre 4. El motivo de esto es porque son elementos principales dentro del puente, es decir, tienen un alto grado de importancia dentro del índice, ya que su peso en la estimación es mayor, conlleva a que con un mínimo de daño que presenten estos elementos, los usuarios de estos puentes podrían estar en peligro al utilizar estas estructuras.

Todos los elementos muestran en menor o mayor medida una relación con el estado actual de la estructura, siendo de mayor importancia los elementos estribo, pilares y apoyos, dado que forman parte de la subestructura y un mal estado de estos, significaría un peligro inminente para todos los usuarios de estos puentes.

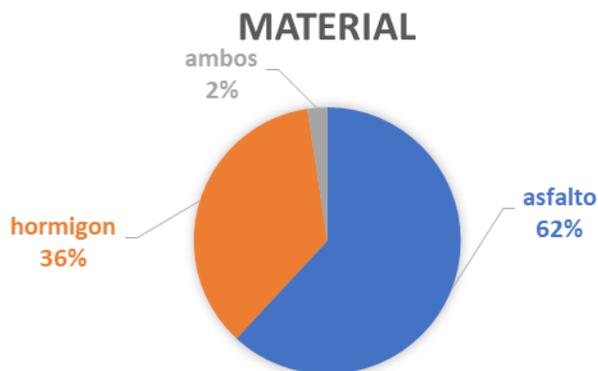
Con respecto a los arcos, solo un puente presentó esta característica, por lo cual no es posible realizar alguna correlación sobre la relación de la existencia de arcos con el estado del puente.



**Gráfico 5 Relación ECI / IBI versus elementos del puente**

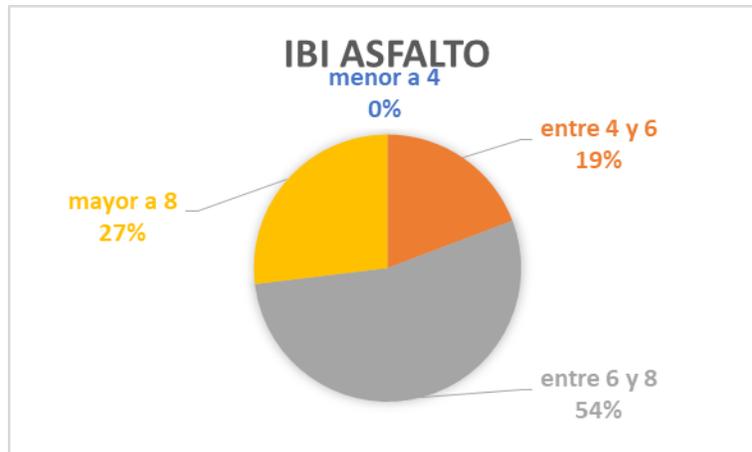
### 5.2.1 Pavimento

Del total de los puentes en estudio, la superficie de rodado es en su mayoría de asfalto con 26 puentes (62%). Mientras que los puentes que presentan una superficie de hormigón es de solo 15 puentes (36%), habiendo 1 puente con ambos tipos de material. En el Gráfico 6 se aprecian estas cifras en porcentajes



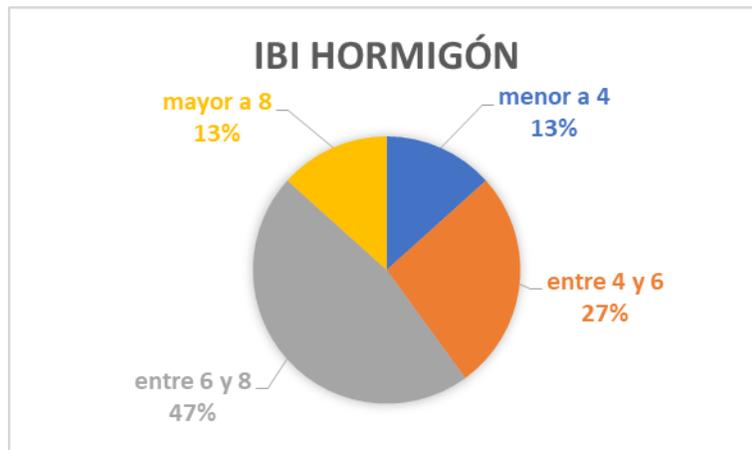
**Gráfico 6 puentes por tipo de pavimento**

En el Gráfico 7 se muestra la relación del índice IBI, tomando por separado los puentes con superficie de rodado de asfalto. En el gráfico se aprecia con claridad que más de la mitad de los datos se encuentran en el rango entre 6 y 8, siendo esto una buena relación. Dado que no existen puentes bajo el nivel 4 con superficie de rodado de asfalto, se aprecia que este material en la región de Valparaíso muestra un buen estado, lo que a juicio propio se puede deber a un buen comportamiento en el tiempo del material, no obstante, esto se debe evaluar a lo largo de los años.



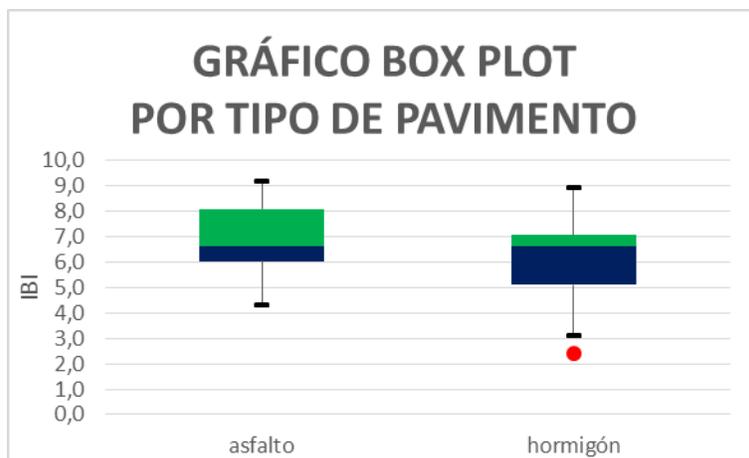
*Gráfico 7 índice IBI con pavimento de asfalto*

Por otro lado, analizando por separado los puentes con superficie de rodado de hormigón, existe una mayor dispersión de los datos dentro de los cuatro rangos, tal como se muestra en el Gráfico 8. Se podría decir eventualmente, que la superficie de rodado de hormigón presenta mayor deterioro, dado que en contraste con los puentes de asfalto si presenta un porcentaje de puentes con IBI menor a 4, por lo que, como recomendación propia, se debería realizar inspecciones con mayor periodicidad que los puentes de asfalto y a su vez realizar un mantenimiento adecuado in situ, para no llegar a un nivel de IBI menor o igual a 4.



*Gráfico 8 índice IBI con pavimento de hormigón*

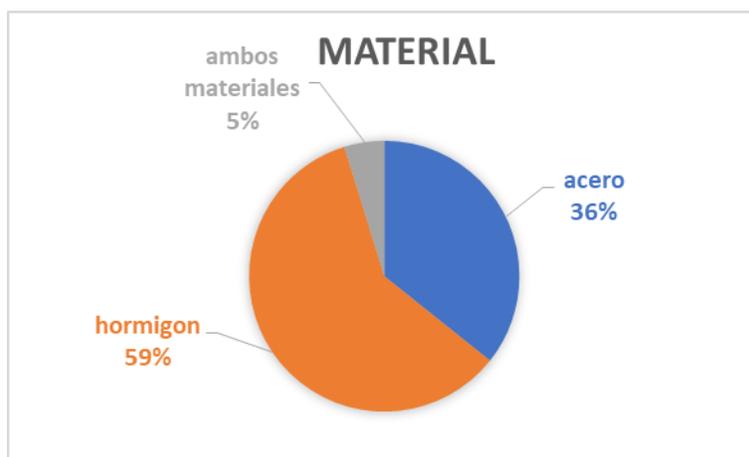
Al comparar el índice de priorización de los puentes con superficie de rodado de asfalto, con respecto a los puentes con superficie de rodado de hormigón, Gráfico 9, se aprecia que los datos del primer caso se encuentran concentrados en un índice IBI más alto que los puentes de superficie de hormigón. Además estos últimos presentan una mayor dispersión de datos, teniendo un dato atípico, el puente Chagres.



*Gráfico 9 Índice IBI comparación ambos tipos de pavimento*

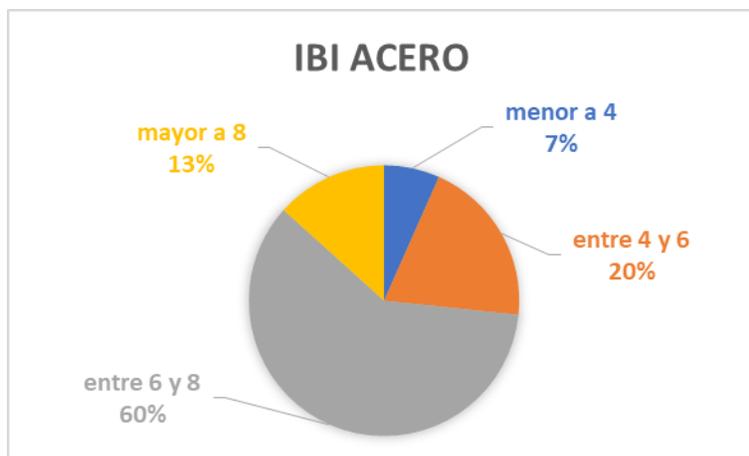
### 5.2.2 Viga

Al analizar el elemento tipo viga, es posible determinar que un 36% de los puentes son de acero (15 puentes), 59% son de hormigón (25 puentes), y solo 5% es de ambos materiales (2 puentes) como se ilustra en el Gráfico 10.



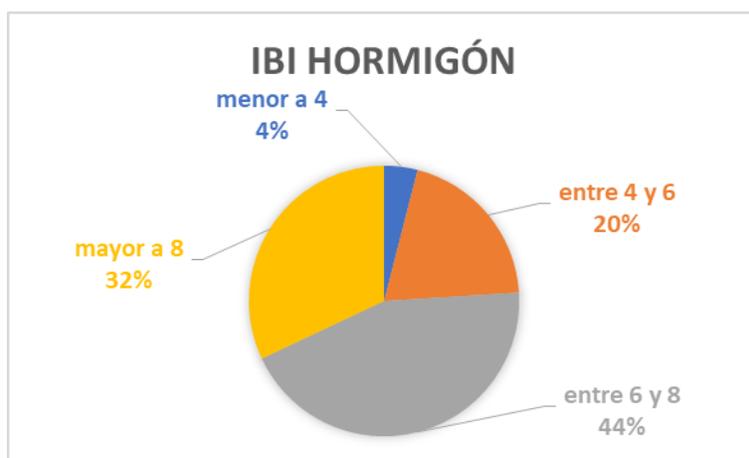
*Gráfico 10 puentes por tipo de viga*

Una vez determinado el porcentaje que tiene cada material, se procede a analizar el índice IBI para cada material por separado, con el objetivo de determinar si existe alguna correlación entre la materialidad y el índice IBI obtenido. El Gráfico 11 muestra los resultados de este análisis. En dicho gráfico, se aprecia que la mayoría de los puentes con vigas de acero, tienen un índice IBI bastante bueno, ya que un 73% de los datos tiene un índice mayor a 6. Además, el total de los puentes con vigas de acero presentan en promedio un IBI de 6,5 y una mediana de 6,35.



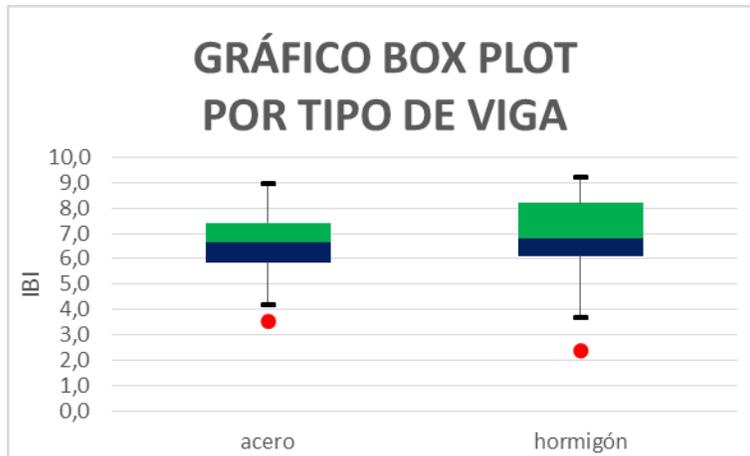
*Gráfico 11 índice IBI con vigas de acero*

Por otro lado, los puentes que fueron construidos con vigas de hormigón muestran una relación bastante similar a la del caso anterior, como se aprecia en el Gráfico 12, con un 76% de los datos sobre índice 6. El total de datos tomados en esta sección presentan en promedio un índice IBI de 6,81 y una mediana de 6,78. Por lo tanto, el material con el que se construyen las vigas de la infraestructura no presenta un patrón definido que indique que se deba priorizar el mantenimiento de un puente de un material por sobre el otro.



*Gráfico 12 índice IBI con vigas de hormigón*

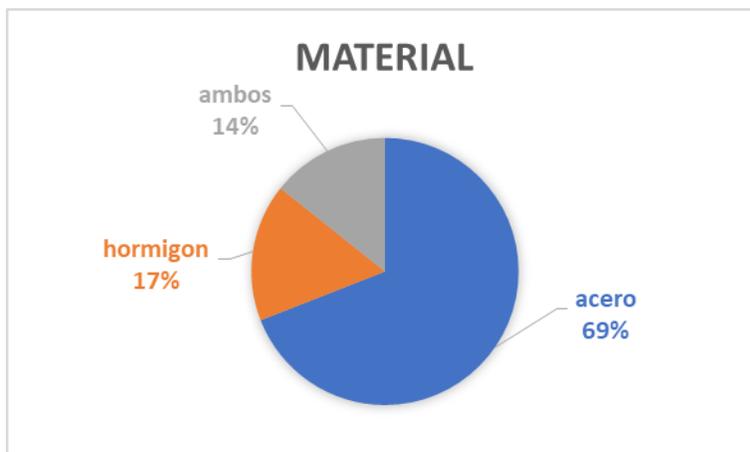
A continuación, en el Gráfico 13 se puede ver que los puentes que poseen vigas de hormigón tienen una mayor dispersión de los datos, a pesar, que tienen un mayor IBI en promedio que los puentes con vigas de acero. Además, ambos tipos de vigas presentan un dato atípico, es decir existe un puente bajo el límite inferior, en el caso de los puentes con vigas de acero es el puente Rio Blanco 1 con un índice IBI de 3,533 y en el caso de los puentes con vigas de hormigón es el puente Chagres con un índice IBI de 2,407, el cual se encuentra mucho más alejado de los datos que el puente anterior.



*Gráfico 13 Índice IBI comparación ambos tipos de viga*

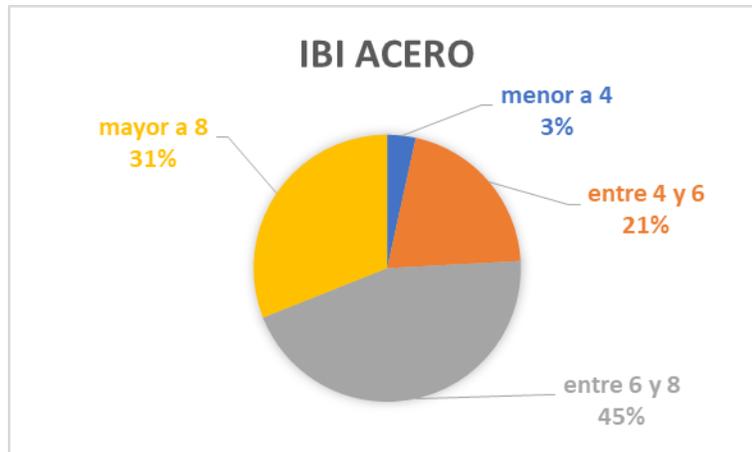
### 5.2.3 Baranda

Las barandas de acero son las más usadas en los puentes analizados. Esto se aprecia en que casi 30 puentes del total, equivalente a casi un 70% poseen barandas de acero. Sin embargo, es posible notar que la cantidad de estructuras en análisis con baranda de hormigón, tiene prácticamente la misma probabilidad de ser de ambos materiales, es decir hormigón en la parte baja y acero en la parte alta de la baranda.



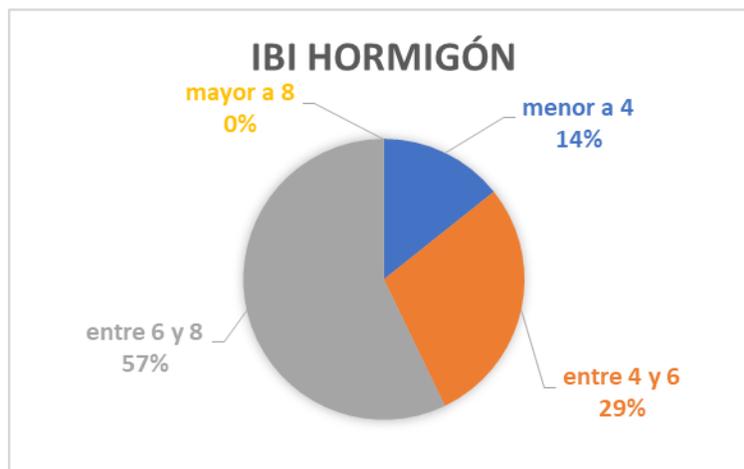
*Gráfico 14 Distribución del material usado en barandas*

Analizando los 29 puentes con barandas de acero, se puede deducir que este material se ha comportado de buena manera como soporte de los lados, para proveer seguridad a los vehículos y peatones que transitan. En términos de una inspección visual de elementos que necesiten ser reparados y/o repuestos la mayoría de los datos (75%) presentan un IBI mayor a 6. En efecto, las barandas de acero presentan en promedio un IBI de 6,95 y una mediana de 6,82, siendo esto un buen indicador. Por lo tanto, se puede decir en conclusión que es este material ayuda a mantener un nivel alto de IBI para la priorización de puentes.



*Gráfico 15 índice IBI con barandas de acero*

Ahora bien, tomando en cuenta solo los 7 puentes con barandas de hormigón en el Gráfico 16 se aprecia que ninguna de ellos presenta un excelente estado, con un índice de priorización mayor a 8. Además, se aprecia que casi la mitad de las estructuras tiene un índice bajo 6, su IBI promedio es de 5,11 y su mediana de 6,0, por lo que se podría indicar que las barandas de hormigón disminuyen el índice IBI de los puentes que presenten este material como soporte y pueden proveer menos seguridad a los usuarios de la vía.



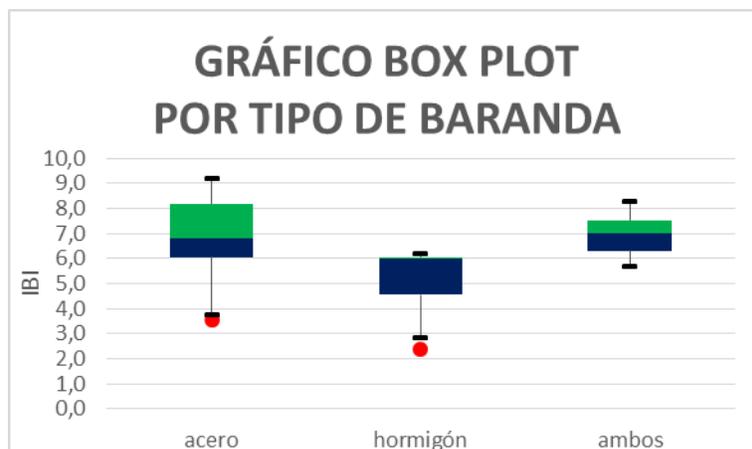
*Gráfico 16 índice IBI con barandas de hormigón*

Por último, los resultados de los 6 puentes restantes que presentan barandas híbridas, una parte de acero y una parte de hormigón, son ilustrados en el Gráfico 17. Este gráfico muestra que ninguno de estos puentes presenta un índice IBI bajo 4, lo cual es un buen indicador del buen estado de estos puentes. Además, solo el 16% de los datos se encuentra bajo 6. Su promedio y mediana son 6,97 y 7,02, respectivamente, otro indicador más que estos puentes presentan un buen estado.



*Gráfico 17 índice IBI con barandas de acero y hormigón*

En el Gráfico 18 se aprecian los tres índices IBI para su comparación. Se aprecia claramente en esta comparación, que los datos de puentes con barandas de hormigón tienen un índice IBI menor que los otros, esto por la forma de la caja box plot, al tener casi nada de espesor en la parte superior y un mayor espesor en la parte inferior. Además, se puede apreciar a simple vista que los datos de puentes con barandas mixtas presentan una menor dispersión de los datos que los puentes con barandas de un solo material, ya sea acero u hormigón.



*Gráfico 18 Índice IBI comparación tipos de baranda*

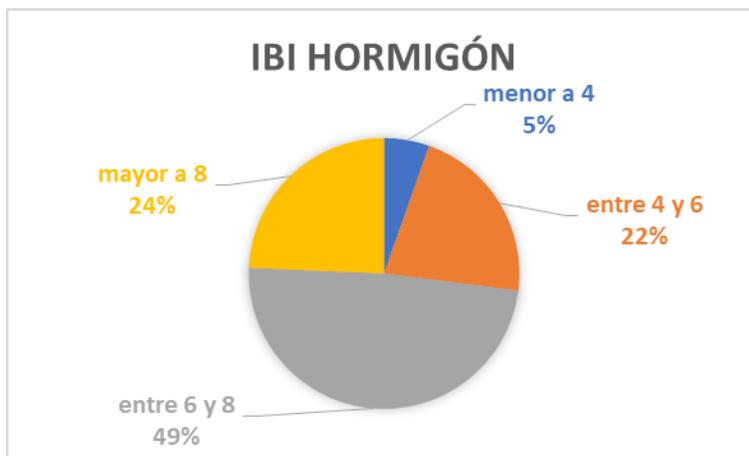
#### 5.2.4 Estribo

De las estructuras analizadas, 37 de un total de 42 de ellas presentan estribos de hormigón por lo cual, se podría inferir a priori que en Chile es el material más usado para la construcción de estos elementos con un 90% de los datos a nivel de la Región de Valparaíso.



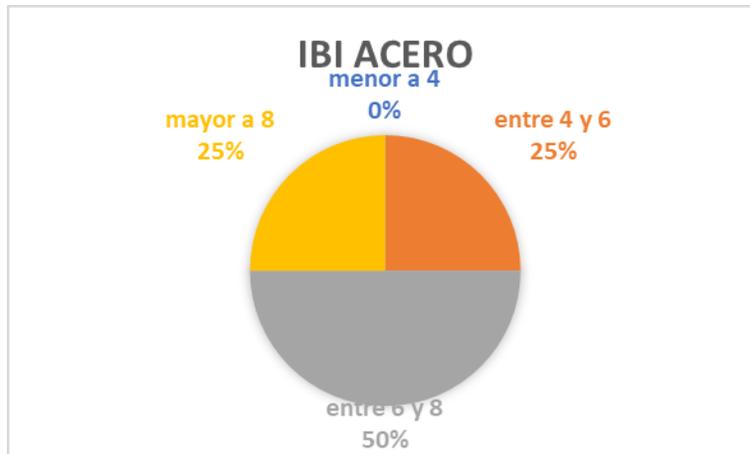
*Gráfico 19 puentes por tipo de estribo*

Las estructuras con estribos de hormigón se encuentran en un buen estado a nivel visual. En el Gráfico 20 el 73% de los datos tiene un índice IBI sobre 6, con un IBI promedio de 6,62 y una mediana de 6,65. Esto implica que, se está apuntando en una buena dirección en relación al tipo de material usado para estos elementos. Cabe mencionar que en el análisis realizado anteriormente los estribos fueron uno de los elementos que por sí solo presento las mejores calificaciones (ECI), se puede concluir del gráfico que el hormigón es un material que ha presentado un buen desempeño, esto justificaría su alta utilización en la construcción de estribos.



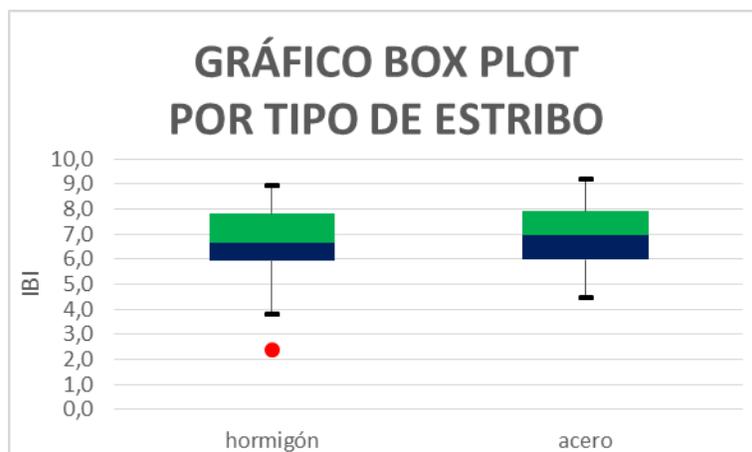
*Gráfico 20 índice IBI con estribos de hormigón*

Mientras tanto en el Gráfico 21 se presenta la relación IBI para los puentes con estribos de acero, los cuales corresponden a solo 4 puentes. En este caso, solo un dato está en el rango mayor a 8, un dato en el rango entre 4 y 6 y dos datos en el rango entre 6 y 8, con un promedio de 6,91 y una mediana de 6,99.



*Gráfico 21 índice IBI con estribos de acero*

En el Gráfico 22 se compara el resultado IBI de los puentes con estribos de hormigón con respecto a los de acero. Este gráfico muestra que los resultados para los estribos de acero presentan una distribución normal, esto dado que los espesores de las barras superior e inferior son iguales, y además los límites inferior y superior están equidistantes a la caja. Por otro lado, los estribos de hormigón que son mayoría, presentan en promedio índices IBI levemente más bajos que los puentes con estribos de acero. Advirtiendo que los estribos son un elemento esencial de la subestructura, es necesario tener un buen examen y reconocimiento de lo que pasa a lo largo de la vida útil de estos elementos, independiente de su materialidad.



*Gráfico 22 Índice IBI comparación ambos tipos de estribo*

### 5.3 Inventario

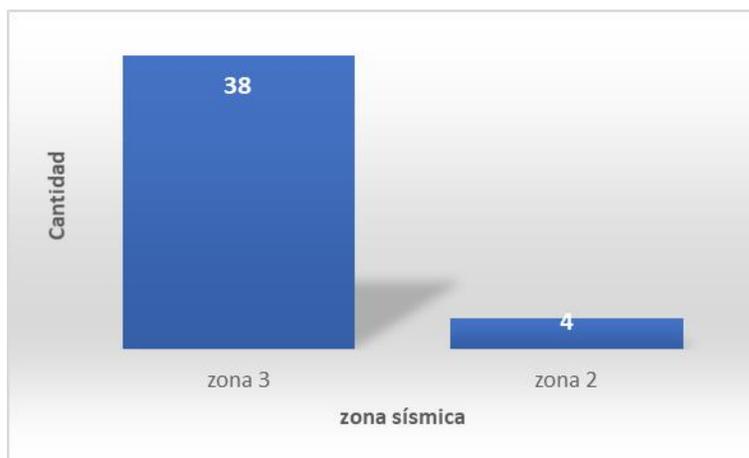
En la siguiente sección se verán las características tomadas, tales como: (1) ubicación, (2) tipo de estructura, (3) longitud, (4) ancho, (5) número de vanos, (6) número de vigas. Estos datos no son considerados en el cálculo de IBI, por lo tanto, se realizó un análisis por separado de las características de cada puente. El motivo por el cual estos datos son tomados es porque son parte importante del inventario, con esta información tenemos en cuenta características de cada puente que es necesaria a

---

la hora de generar un análisis en profundidad, ya sea para análisis de costos o actualización del inventario.

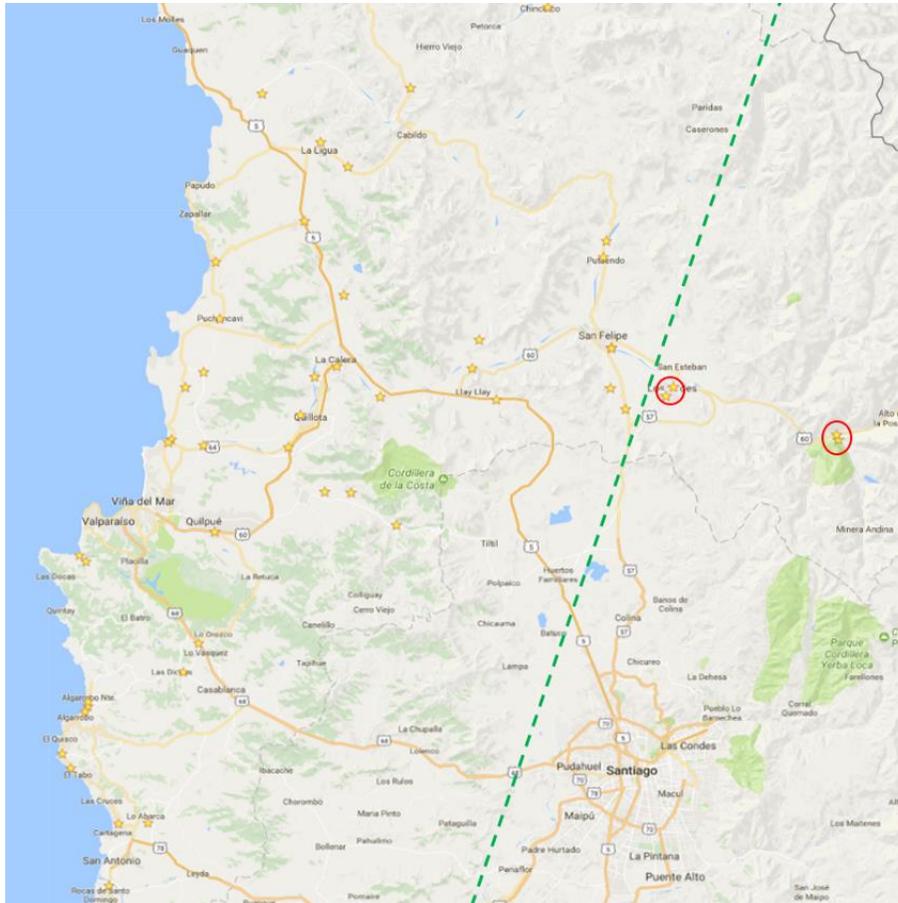
### 5.3.1 Ubicación

Según la Norma Chilena Oficial vigente (MOP, 2017) se describen tres zonas sísmicas donde la división política por comunas prevalece para esta zonificación. En la región de Valparaíso actualmente existen 35 comunas, de las cuales, 32 comunas se encuentran en zona sísmica 3, es decir, están en sector costero que representa una mayor demanda sísmica. En cuanto a las 3 comunas restantes, se encuentran en zona sísmica 2. Como se ve en el Gráfico 23, del total de 42 puentes, 38 se encuentran dentro de la zona sísmica 3 y solo 4 puentes se encuentran en zona sísmica 2.



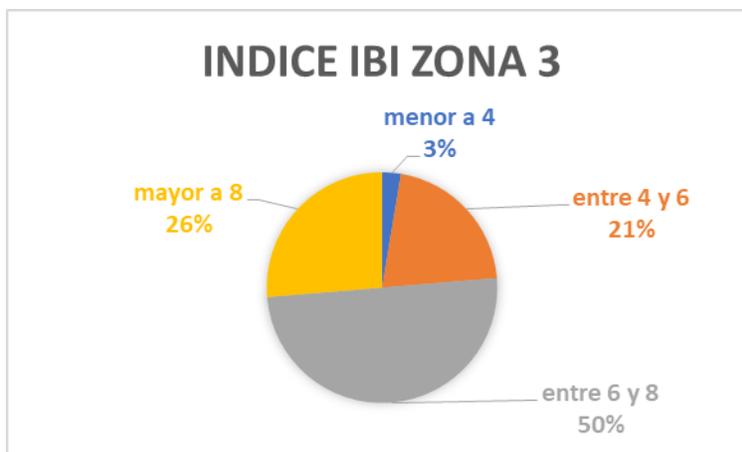
*Gráfico 23 Puentes según zona sísmica*

Los puentes (1) Rio Blanco 1, (2) Rio Blanco 2, (3) David García Este y (4) David García Oeste son los únicos puentes que están ubicados en zona sísmica 2, indicados en la Figura 5-1 en círculos rojos. En esta figura se ilustra una línea verde que demarca de manera referencial la división entre la zona sísmica 2 y 3.



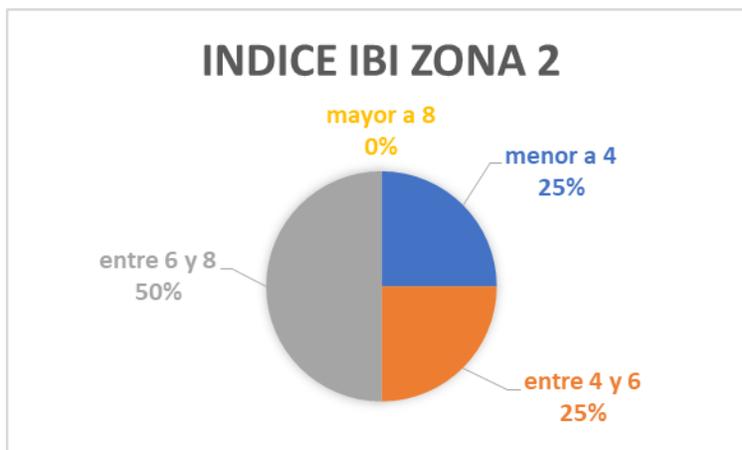
*Figura 5-1 División zona sísmica en zona de estudio*

Ahora bien, del análisis IBI realizado a los puentes ubicados en zona sísmica 3, se puede ver en el Gráfico 24 que la mayoría de los datos (50%) se encuentra en el rango entre 6 y 8 con un índice bastante bueno siendo su promedio de 6,78 y su mediana de 6,70. Además, se puede apreciar que solo un puente (3%) presenta un IBI menor a 4. Se puede decir de esto que, los puentes de esta zona presentan un buen índice, tomando en cuenta su promedio y su porcentaje de puentes con índice IBI bajo 4. Sin embargo, el mejor comportamiento de estos puentes también puede ser producido por la importancia de estos puentes, dado que se encuentran en sectores con más flujo vehicular, en vías de mejor estado o en lugares más poblados.



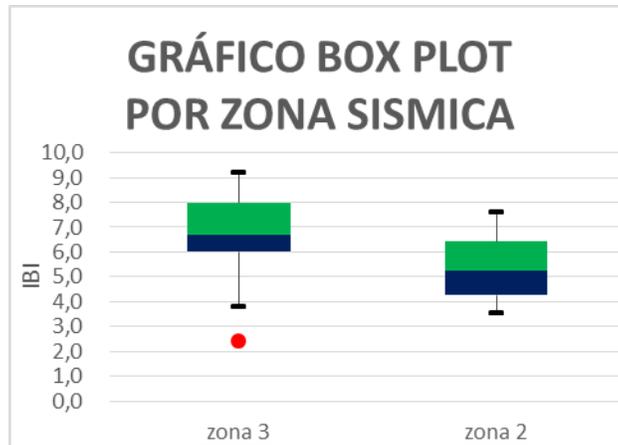
*Gráfico 24 índice IBI zona sísmica 3*

El siguiente gráfico muestra los resultados de los puentes ubicados en zona sísmica 2. Se aprecia que ninguno de ellos presentó un comportamiento excelente, es decir, con un índice IBI sobre 8.



*Gráfico 25 índice IBI zona sísmica 2*

En el Gráfico 26, podemos ver la dispersión de los datos con respecto a su zona sísmica, en zona 3 existe una mayor cantidad de datos y mayor dispersión de estos, ya sea dentro de los cuartiles 1 y 3 como entre los límites inferior y superior. Además, volvemos a ver el puente Chagres como un dato atípico. En zona sísmica 2 los datos se encuentran más concentrados y con un IBI menor que el caso anterior.



*Gráfico 26 Índice IBI comparación ambas zonas sísmicas*

### 5.3.2 Tipo de estructura

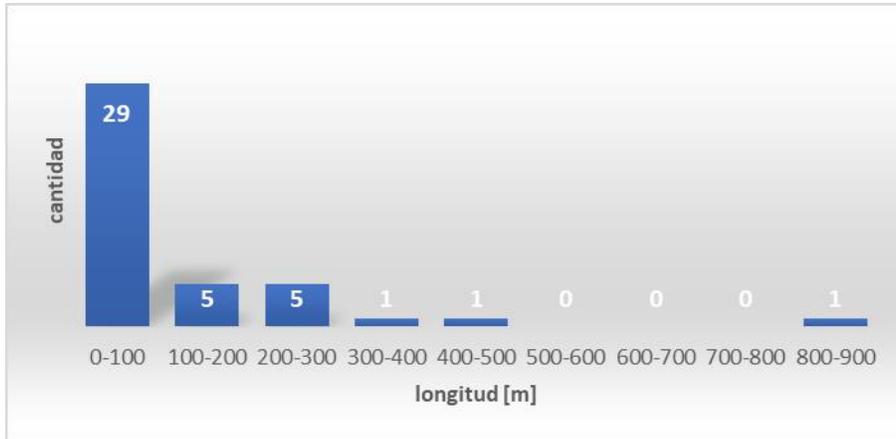
Como se explicó en el capítulo 2, existen seis tipos de puentes dependiendo del tipo de estructuración que presenten, estos son; (1) reticulados, (2) de viga, (3) de una losa, (4) de viga caja, (5) colgante y (6) en arco. De los puentes inspeccionados solo se recabo información de cuatro tipos. En el siguiente gráfico se muestra la cantidad de puentes inspeccionados por tipo de estructura. Como se aprecia en el Gráfico 27 más de un 70% de los puentes en análisis son de viga, dado que es bastante popular la construcción de puentes de viga en la región.



*Gráfico 27 puentes según tipo de estructura*

### 5.3.3 Longitud

En el gráfico de histograma siguiente, se ve que del total de puentes analizados (42), la mayoría, es decir, cerca del 70% de los puentes en estudio tienen una longitud menor a 100 metros, esto dado que los cauces que comienzan en la cordillera y terminan en el mar son de ancho relativamente estrecho. En tanto existe un solo puente con un ancho extremadamente elevado, llegando a 862 metros, el puente Lo gallardo en San Antonio, que está situado en la salida del cauce, donde el río Maipo se abre paso para llegar hacia el mar.



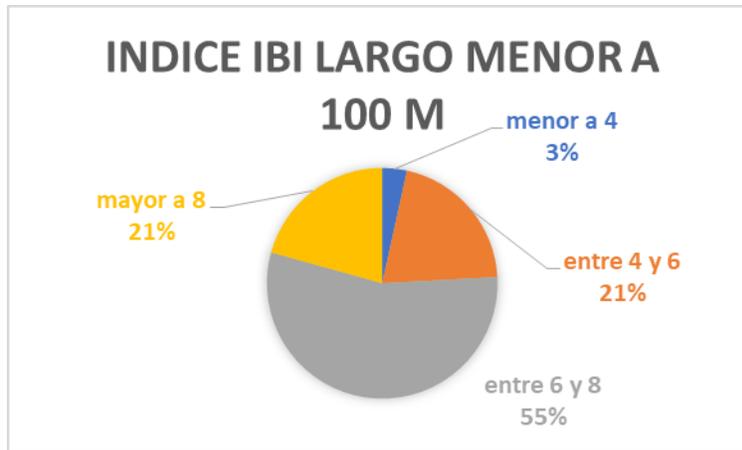
*Gráfico 28 puentes según longitud*

En el Gráfico 29 se muestra el análisis de las calificaciones IBI de los 13 puentes que tiene un largo mayor a 100 metros, el 68% de estos puentes presenta un buen estado, ya que su índice es mayor a 6, con un promedio de 6,62 y una mediana de 6,64. Sin embargo, de igual manera existe un puente con índice IBI menor a 4 el puente Chagres.



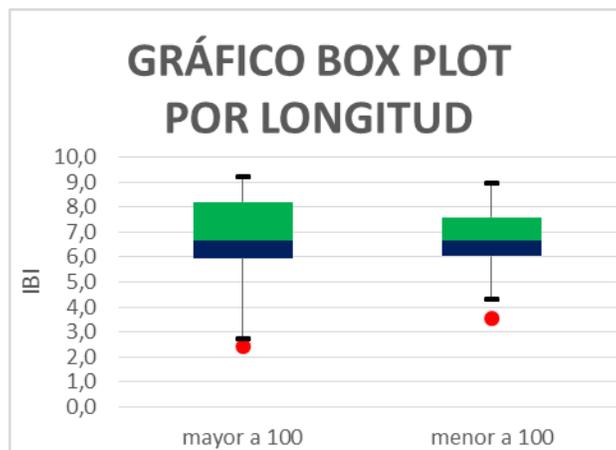
*Gráfico 29 índice IBI puentes mayor longitud*

En el Gráfico 30 se muestra el análisis de las calificaciones IBI de los 29 puentes restantes con un largo menor a 100 metros, el 55% de estos puentes se presentan en el rango de 6 a 8. Se presenta un promedio de 6,66 y una mediana de 6,69, un poco mayor a los puentes de mayor longitud y al igual que estos puentes existe una sola estructura con índice IBI menor a 4, que es el puente Rio Blanco 1.



*Gráfico 30 índice IBI puentes menor longitud*

A continuación, en el Gráfico 32 se puede ver que los puentes con longitudes totales mayor a 100 metros tienen una mayor dispersión de los datos que los puentes más cortos. Además, ambos gráficos muestran datos atípicos, el puente Chagres con longitud mayor a 100 metros se encuentra muy cercano al límite inferior de la caja box plot mientras que el puente Rio Blanco 1 con longitud menor a 100 metros se escapa un poco más de los datos.



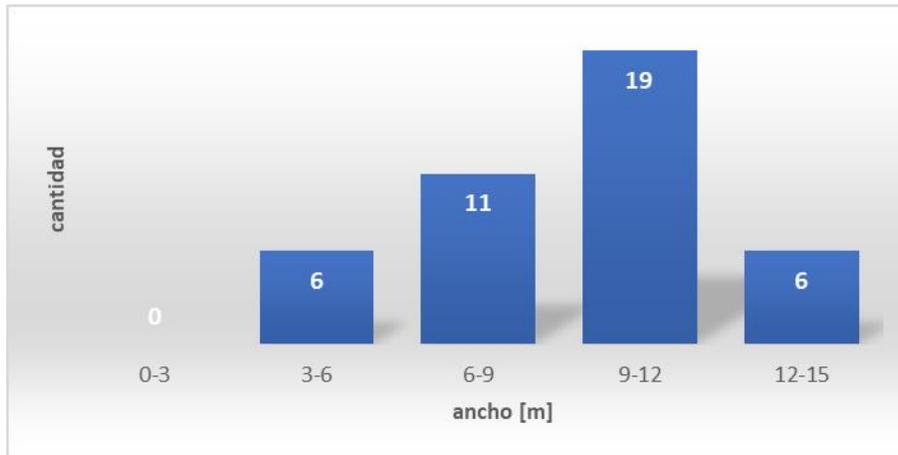
*Gráfico 31 Índice IBI comparación por longitud*

### 5.3.4 Ancho

El ancho del puente va a depender del flujo vehicular y, por tanto, de la categoría de la vía, pudiendo esta ser, autopista, autorruta, primario, colector, camino local o desarrollo. Más del 60% de los puentes tienen un ancho mayor a 9 metros, mientras que alrededor del 45% de los puentes en estudio está en el rango entre 9 y 12 metros de ancho, es decir, presentan anchos aceptables para el doble tránsito.

Dado que a mayor ancho de la vía mayores son las velocidades permitidas, se puede concluir que los puentes angostos son parte de vías que corresponden a caminos colectores, mientras que los puentes más anchos son parte de carreteras como autorruta y primarios. No pudiendo tratarse de Autopistas

porque como se dijo en un principio solo se está haciendo un análisis de los puentes administrados por la Dirección de Vialidad (no concesionados)



*Gráfico 32 puentes según ancho*

### 5.3.5 Número de vanos

Dentro de los puentes en estudio no hubo ninguno, dentro de la clasificación de puente suspendido, que tiene la particularidad de necesitar un mínimo de vanos a pesar del largo del puente. Por lo tanto, para los otros tipos de estructuras, el número de vanos está directamente relacionado con el largo total del puente. Es por esto por lo que, la mayoría de los puentes es de longitudes menores a 100 metros, incluso llegando a longitudes menores a 30 metros. El 64% de los puentes en estudio tiene como máximo 3 vanos, esto quiere decir que todos aquellos puentes de corta longitud están en este rango. En tanto el puente Lo gallardo que fue el puente con mayor longitud medido, fue efectivamente el puente que presentó más vanos, con un total de 30.

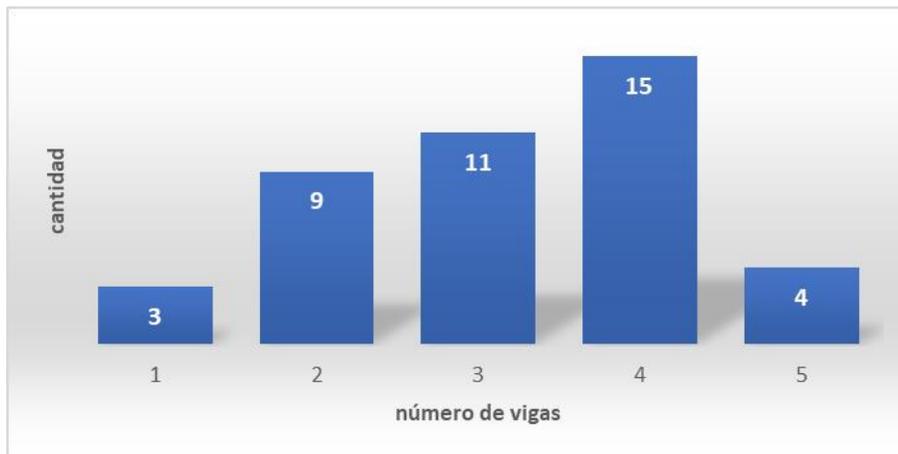


*Gráfico 33 puentes según número de vanos*

---

### 5.3.6 Número de vigas

Esta característica de cada puente está directamente relacionada con el ancho del puente, por lo cual los porcentajes de cada uno de los intervalos en el Gráfico 34 son bastante similares a los porcentajes vistos en el Gráfico 32, dado que a mayor ancho de la vía, mayor es el soporte que se necesita en la subestructura, específicamente en las vigas que son los elementos que reciben el total de las cargas y las distribuyen hacia los extremos y hacia el suelo.



*Gráfico 34 puentes según número de vigas*

---

# CAPÍTULO 6:

## CONCLUSIONES

### 6.1 Conclusión

Con este estudio, se ha logrado implementar una metodología de priorización de puentes a través del Índice Integrado de Puentes IBI, que reúne la información necesaria sobre la estructura en estudio, de manera de almacenar y clasificar la información para crear una base de datos sobre las características y el estado de cada puente existente a nivel regional.

El 26% de los puentes vistos en terreno presentan un IBI igual o menor a 6, lo que indica que en estos casos es necesario realizar un estudio más detallado de la estructura que permita determinar la magnitud real del deterioro del puente y, en caso de que sea necesario, el tipo de reparación o mantenimiento a realizar. Además, se identificó que solo 2 puentes, lo cual es equivalente al 5% de la muestra de puentes estudiados, presentó un índice IBI menor a 4. Este resultado indicaría, tomando como base las recomendaciones de Valenzuela y otros (2010), que estos puentes requieren urgentemente la ejecución de medidas de reparación o reposición.

Factores como importancia dentro de la vía, riesgo sísmico e hidráulico y condiciones del puente, son los cuatro componentes básicos con lo que se cuantifica la información en base a las inspecciones visuales realizadas. De este modo, se logra tener un método objetivo para la evaluación de las condiciones de la estructura, y así tener una mejor calidad de información. Se pudo ver, que los factores de importancia están correlacionados entre ellos, dado que una mayor importancia estratégica aumenta el índice IBI, con los datos estudiados.

Se analizaron por separado todos aquellos puentes con una (SI) importancia alta dentro de la vía. Con estos datos se concluyó que el 46% de los puentes presenta un excelente estado, es decir un índice mayor a 8. Con estos antecedentes es posible apreciar que un puente con alta importancia dentro de la vía está en buen estado dado que una parte importante en la ruta y dentro de la red vial.

Estribos, pilares y apoyos son los elementos esenciales de examinar en cualquier tipo de inspección. Dado que, si alguno de estos tres elementos llega a presentar un mínimo de daño, la estabilidad de la estructura se ve afectada. Sin embargo, en este estudio, presentan una muy buena condición en general.

Otro elemento importante de analizar son las vigas principales. Dentro del análisis se pudo apreciar que al disminuir el índice el estado de estos elementos empeora. Por tanto, si las vigas del puente se encuentran en mal estado, al ser un elemento principal; el índice IBI cae considerablemente y esto alerta a que el puente deba necesitar reparación inmediata y se deba realizar un estudio de diagnóstico más en profundidad.

Como último análisis se vio que la mayoría de los puentes se encuentra ubicado en zona sísmica 3 por lo cual son más susceptibles a altas demandas sísmicas. Sin embargo, presentan un índice aceptable dado que solo un puente del total de la muestra se encontraba en un rango bajo 4, pudiendo ver que la mitad de los datos (cuartil 1 al 3) se encuentran en el rango entre 6 y 8 con un promedio de índice de 6,7 representa una buena relación.

---

En cuanto a la priorización hecha en este estudio y una priorización futura, es necesario seguir esta misma línea de evaluación para tener una base comparativa. Al mismo tiempo, con un método objetivo para la evaluación de las condiciones de la estructura, se logra llegar a un proceso más preciso, para determinar que puente debe recibir fondos, ya sea, para mantención o reparación, según sea el requerimiento.

La inspección visual de puentes es una metodología útil que guía al inspector asegurando el análisis total del puente. Sin embargo, es tediosa, que necesita periodos de tiempo largo para la toma y análisis de datos. Sobre todo, en puentes de gran tamaño donde el acceso inferior es dificultoso y es necesario de implementos más elaborados para llegar a lugares como, los vanos del medio, rincones aislados por el mismo cauce del agua, maleza u otros.

Una de las limitaciones que presenta este índice de priorización es que no se cuenta con una base de datos del nivel de daño existente en las vías. Para con esto, tomar esta base de datos junto a los datos de puentes y correlacionarlos. De modo que se puedan hacer reparaciones en conjunto vía y puente en un mismo sector, si el estudio arroja que así se requiere.

## 6.2 Recomendaciones

Para una mejor mantención de los puentes, es necesario realizar estudios más detallados sobre la estructura, por lo cual es de gran importancia tener una base de datos, de todos los puentes a nivel nacional.

Como recomendación principal, se requiere de una mayor organización dentro del Departamento de Puentes, que pueda encargarse del manejo de información de la red de puentes en Chile, para así tener información detallada de falencias, áreas involucradas en reparación y cualquier otro problema administrativo que conlleve la toma y proceso de la información en terreno. Asimismo, es necesario tener el personal capacitado para las inspecciones en terreno, de manera que, en cada registro no predomine el criterio de la persona, sino que sea una inspección visual basada en una pauta establecida. Así también es de importancia diseñar un plan de acción para los casos en que se encuentren deterioros reiterativos en más de un puente, para aplicar medidas de conservación similares en cada uno y así automatizar aún más la metodología.

Como se mencionó anteriormente, esta fue una inspección visual de los deterioros observados en terreno de los puentes de la región de Valparaíso, por lo cual en un futuro es necesario realizar esta misma metodología a lo largo de todo el territorio nacional. Conjuntamente es de importancia seguir con estas inspecciones periódicamente para ver la evolución de los deterioros en terreno de cada puente. Además de notar cómo se comportan los puentes ya reparados, y en qué medida ha mejorado para los usuarios el uso de la estructura con estas reparaciones. De esta manera, se podrá tener una base de datos a lo largo de los años, con los estados de cada uno de los puentes en Chile, de la misma manera como lo hacen otros países hace más de 20 años, y así, llegar a la par con sistemas de base de datos y medidas de mitigación de deterioros con países desarrollados, como Estados Unidos. Es de esperar que a futuro sea posible también tomar todos estos datos para conjugar el diseño vial, hidráulico y estructural de cada puente e investigar porque ocurren estas fallas, para así mejorar los diseños y en su medida aminorar los costos de mantención y reparación.

Por último, Para mejorar el índice integrado de Puentes, es necesario establecer umbrales mínimos para cada uno de los ítems que componen el índice, de manera de entregar niveles mínimos de seguridad a todos los usuarios ya sean peatones o conductores.

---

# REFERENCIAS

- USDOT, U. D. (2012). Bridge Inspector's Reference Manual.
- Valenzuela, S., Solminihaç, H. d., & Echaveguren, a. T. (2010). Proposal of an Integrated Index for Prioritization of Bridge Maintenance.
- Carreteras, D. G. (2012). Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado. España.
- Ministerio de Obras Publicas, D. d. (2017). Manual de Carreteras.
- Colombia, M. d. (2006). Manual para la Inspección visual de Puentes y Pontones.
- Rashidi, M., & Gibson, P. (2011). Proposal of a Methodology for Bridge Condition Assessment. Australasian Transport Research Forum, Adelaide, Australia.
- Branco, F., & Brito, J. (2004). Handbook of Concrete Bridge Management.
- Andrey, D. (1987). Bridge Maintenance: Surveillance Methodology. Lausanne, Switzerland.
- OMT. (s.f.). Structure Rehabilitation Manual. 1988 .
- Raina, V. (2005). Concrete Bridges: Inspection, Repair, Strengthening, Testing and Load Capacity.
- Office, B. P. (2006). Washington State Bridge Inspection Manual.
- Austroroads. (2004). Guidelines for Bridge Management – Structure Information.
- Sasmal, S; Ramanjaneyulu, K. (2008). Condition of existing reinforced concrete bridges using fuzzy based analytic hierarchy approach.
- Rashidi, M., & Lemass, B. (2011). *Holistic Decision Support for Bridge Remediation*. The 4th International Conference on Construction Engineering and Project Management, Sydney, Australia.
- Wang, X., & Foliente, G. (2008). "Identifying bridge structural condition development trends via categorical inspection condition rating with case studies.
- Saaty, T. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures.
- Majid, T., & Yousefi, A. (2012). *Prioritization of Highway Bridges for Seismic Retrofitting Using Multi Criteria Decision Making*. School of Civil Engineering, Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia, Lisboa.
- Bana e Costa, C., Oliveira, C., & Viera, V. (2008). Prioritization of bridges and tunnels in earthquake risk mitigation using multicriteria decision analysis: Application to Lisbon.
- Ramirez, J., Pan, A., & Mwakasisi, F. (1996). Seismic Evaluation of Highway Bridges-Phase 1.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). comparative analysis of VIKOR and TOPSIS.
- Queiruga, D., Walther, J., Gonzalez, B., & Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain.

---

Caterino, N., Iervolino, I., Manfredi, G., & Cosenza, E. (2009). Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision- Making Methods for Seismic Structural Retrofitting.

Hwang, C., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications: a state-of-the-art survey*. Springer-Verlag , New York.

Rashidi, M., Samali, B., & Sharafi, P. (2016). *Un nuevo modelo para la gestión de puentes: parte A: evaluación de condiciones y clasificación de prioridad de puentes*. Sidney.

AS5100. (2004). Australian Bridge Design Code.

Valenzuela, S., Solminihac, H. d., & Echaveguren, a. T. (2010). *Proposal of an Integrated Index for Prioritization of Bridge Maintenance*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

MOP, D. d. (2017). *Manual de Carreteras*. Chile.