



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA

# **METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE PUENTES A NIVEL DE RED BASADA EN INSPECCIÓN VISUAL**

**SERGIO ANDRÉS VALENZUELA DÍAZ**

Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, con Diploma en Ingeniería y Gestión de la Construcción, y al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:

**HERNÁN DE SOLMINIHAC TAMPIER**

Santiago de Chile, Septiembre de 2008



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA

# **METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE PUENTES A NIVEL DE RED BASADA EN INSPECCIÓN VISUAL**

**SERGIO ANDRÉS VALENZUELA DÍAZ**

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores

**HERNÁN DE SOLMINIHAC T.**

**CARLOS VIDELA C.**

**TOMÁS ECHAVEGUREN N.**

**PEDRO BOUCHON A.**

Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, con Diploma en Ingeniería y Gestión de la Construcción, y al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Septiembre de 2008

## **DEDICATORIA**

A mi abuela Elena...

## **AGRADECIMIENTOS**

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 mis padres Nancy y Sergio que han sido primordiales para poder concluir con éxito mi carrera. También a mis hermanos y abuelos por su apoyo y compañía.

Un especial agradecimiento a mis compañeros de especialidad Andrés Rodríguez, Loreto Acevedo, Hugo Berroeta, Emil Namur y tantos otros del programa de magíster por todas las horas y buenos momentos compartidos. También saludo a los otros compañeros con los que me compartí durante estos 6 años y que decidieron escoger otros caminos.

Quiero agradecer a mi profesor supervisor don Hernán de Solminihaç por la confianza depositada en mí durante nuestros años de trabajo en conjunto que llevaron a concluir mi etapa universitaria con este trabajo, en el cual ha sido fundamental su guía y apoyo. De igual forma agradezco al señor Tomás Echaveguren por su constante apoyo en la elaboración de este trabajo. Agradezco a los demás profesores que tuve en la escuela, en especial a los del departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Con mucho cariño mis agradecimientos a Edith Garrido y Lidia Soto por la ayuda constante prestada durante los años de estudios y su característica simpatía con los alumnos.

## RESUMEN

Los puentes son un elemento primordial de una red vial debido a su costo, la conectividad que agregan a la red y las graves consecuencias que puede tener su colapso. Debido a esto surgen los Sistemas 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 desarrollar un índice para la priorización y toma de decisiones de mantenimiento y rehabilitación de puentes a través de un Índice combinado del Puente (IP) 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.

Para poder determinar el Índice del Puente fueron desarrolladas o adaptadas herramientas individuales para el cálculo de los cuatro factores enunciados con información obtenida mediante inspección visual. Posteriormente se desarrolló el índice final recopilando conocimiento experto a través de una encuesta en la que se plantearon combinaciones de los factores a través de escenarios y se evaluó el estado general de la estructura.

Se obtuvo una ecuación para el cálculo del Índice del Puente, el que permite priorizar inversiones y asignar acciones de mantenimiento y rehabilitación de acuerdo a su valor y el de los factores que lo componen. 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.

Palabras Claves: *Sistema de Gestión de Puentes, priorización de puentes, conservación, Índice combinado del Puente.*

## ABSTRACT

Bridges are a key element of a road network because their cost, the connectivity they add to the network and the serious consequences that a bridge collapse can have. Therefore Bridge Management Systems exist; they are processes for information management and decisions making, under budget constraint, for these structures conservation. This research was focused in the development of an index for prioritization and decisions making on maintenance and rehabilitation of bridges through an Bridge combined Index and rehabilitation decisions' making that weighted de structure distresses, the relationship between de bridge and the hydraulic channel, the seismic risk of the structure and its importance in the network.

To determine the Bridge Index individuals tools were developed or adapted for calculating the four factors set forth with information obtained though visual inspection. Subsequently it was developed the final index gathering expert knowledge through a survey on the basis of factors combinations in scenarios for the general state of the bridge assessment.

It was obtained an equation for calculating the Bridge Index which allows prioritize investments and allocate maintenance and rehabilitation procedures according to its value and the values of the factors that compose it. Its implementation on the bridges of the road network allows detect the most urgent needs of intervention based on a comprehensive analysis of their condition, environment and functionality.

*Keywords: Bridge Management System, Bridge combined Index, Bridges prioritization*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA _____	i
AGRADECIMIENTOS _____	ii
RESUMEN _____	iii
ABSTRACT _____	iv
ÍNDICE GENERAL _____	v
ÍNDICE GENERAL _____	vii
ÍNDICE DE TABLAS _____	viii
ÍNDICE DE FIGURAS _____	ix
I. INTRODUCCIÓN _____	1
1.1 Antecedentes generales de la investigación _____	1
1.2 Definición del problema _____	6
1.3 Hipótesis de trabajo _____	7
1.4 Objetivos _____	8
1.5 Alcances de la investigación _____	8
1.6 Metodología de investigación _____	10
1.7 Plan de trabajo _____	12
1.8 Resultados esperados _____	12
II GESTIÓN DE PUENTES. ESTADO DEL ARTE. _____	13
2.1 Elementos de un puente _____	13
2.2 Clasificación de los puentes _____	14
2.3 Sistemas de Gestión de Puentes _____	15
2.4 Componentes de un Sistema de Gestión de Puentes _____	18
2.5 La Gestión de Puentes en Chile _____	20
2.6 Sistemas de Gestión de Puentes Internacionales _____	23
2.7 Importancia Estratégica de los Puentes _____	25
2.8 Inspección de Puentes _____	32
2.9 Vulnerabilidad Hidráulica _____	33

2.10	Riesgo Sísmico	36
<b>III</b>	<b>METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE PUENTES</b>	<b>38</b>
3.1	Introducción	38
3.2	Enfoque de la metodología	38
3.3	Descripción general de la metodología	39
3.4	Niveles de Gestión e Índice combinado del Puente	41
3.5	Mecanismo de priorización de estructuras	45
3.6	Asignación de acciones de mantenimiento	46
3.7	Directrices del uso del SGPu a nivel de proyecto	48
<b>IV</b>	<b>CÁLCULO Y CALIBRACIÓN DE LOS ÍNDICES DE GESTIÓN</b>	<b>51</b>
4.1	Cálculo del Índice Combinado del Puente	51
4.2	Asignación de acciones de conservación.	59
4.3	Metodología para el cálculo de la importancia estratégica.	62
4.4	Cálculo del Índice de Condición del Puente	69
4.5	Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Hidráulica	81
4.6	Cálculo del Índice de Riesgo Sísmico	87
4.7	Cálculo del riesgo sísmico	88
<b>V</b>	<b>APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA</b>	<b>90</b>
5.1	Aplicación en una red de puentes reales	90
5.2	Aplicación computacional para el uso de la metodología.	92
5.3	Validación de la metodología	106
<b>VI</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>111</b>
6.1	Conclusiones	111
6.2	Recomendaciones	112
6.3	Futuros desarrollos y líneas de investigación.	114
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>119</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.	ESTUDIOS DETALLADOS DE CAPACIDAD _____	119
ANEXO B.	ENCUESTA PILOTO ÍNDICE DEL PUENTE _____	131
ANEXO C.	ENCUESTA DEFINITVA ÍNDICE DEL PUENTE _____	138
ANEXO D.	ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE COMBINADO DEL PUENTE _____	143
ANEXO E.	ANÁLISIS PARA RECOMENDACIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN _____	155
ANEXO F.	DESARROLLO ÍNDICE IMPORTANCIA ESTRATÉGICA _____	162
ANEXO G.	DOCUMENTOS PARA LA INSPECCIÓN DE PUENTES _____	169
ANEXO H.	CÁLCULO DEL RIESGO SÍSMICO _____	185
ANEXO I.	DATOS DE INSPECCIÓN EN TERRENO DE PUENTES _____	190

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1: Comparación de SGPu usados en Chile.....	23
Tabla II-2: Comparación de elementos principales de los SGPu.....	24
Tabla IV-1: Factorial de escenarios .....	52
Tabla IV-2: Factorial de escenarios seleccionados .....	54
Tabla IV-3: Valores representativos IP.....	55
Tabla IV-4: Análisis de la ecuación como un todo (ANOVA).....	58
Tabla IV-5: Análisis de la significancia de cada variable independiente .....	58
Tabla IV-6: Calificación de posibles rutas alternativas .....	63
Tabla IV-7: Calificación de tránsito por el puente.....	63
Tabla IV-8: Calificación de puentes según el entorno socioeconómico. ....	64
Tabla IV-9: Calificación del puente según su ancho. ....	64
Tabla IV-10: Calificación de puentes según su largo .....	65
Tabla IV-11: Calificación de puentes según restricciones de peso.....	65
Tabla IV-12: Escenarios de validación de IE.....	67
Tabla IV-13: IE calculado.....	67
Tabla IV-14: Validación de IE.....	68
Tabla IV-15: Grado de Daño.....	70
Tabla IV-16: Condición de los Elementos de un Puente .....	78
Tabla IV-17: Factor de peso por material del elemento.....	80
Tabla IV-18: Escala de ICP del puente.....	81
Tabla IV-19: Calificación de las condiciones del canal.....	85
Tabla IV-20: Calificación de la socavación (Adaptado de MDOT, 2007) .....	85
Tabla IV-21: Cálculo de la Vulnerabilidad Hidráulica.....	86
Tabla IV-22: Calificación del riesgo sísmico.....	88
Tabla V-1: Resultados de la aplicación de la metodología. ....	92
Tabla V-2: Comparación de resultados.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1: Desempeño de un puente en su ciclo de vida (Adaptado de Woodward , 2001) .....	3
Figura I-2: Metodología de investigación .....	10
Figura I-3: Cronograma de la Investigación .....	12
Figura II-1: Elementos de un Puente.....	13
Figura II-2: Enfoques de un sistema de gestión (Adaptado de Small et al., 1999).....	17
Figura II-3: Componentes de un Sistema de Gestión de Puentes (Adaptado de Austroads, 2002) .....	20
Figura III-1: Metodología de Gestión de Puentes Propuesta .....	39
Figura III-2: Niveles de Gestión e Inspección .....	41
Figura III-3: Modelo de Activación de Niveles de Inspección .....	44
Figura IV-1: Gráfico de IP observado VS IP predicho .....	57
Figura IV-2: Árbol de asignación de acciones de conservación .....	61
Figura IV-3: Ejemplos de Codificación de Elementos (Fuente: Adaptado DICTUC, 2006) .....	75
Figura IV-4: Ficha de Inspección Hidráulica.....	83
Figura V-1: Modelo de la Base de Datos de la Aplicación.....	94
Figura V-2: Pantalla de inicio de la aplicación computacional.....	96
Figura V-3: Menús generales del sistema .....	97
Figura V-4: Menú de Mantenimiento de Puentes.....	98
Figura V-5: Plantilla de información general del puente .....	99
Figura V-6: Pantalla de selección de elementos .....	100
Figura V-7: Detalle de elementos .....	100
Figura V-8: Formulario de ingreso de datos de inspección rutinaria.....	101
Figura V-9: Formulario de ingreso de datos de inspección general.....	102
Figura V-10: Formulario de ingreso de datos de inspección hidráulica .....	103
Figura V-11: Informe de Priorización por Grado de Daño (GD).....	104

Figura V-12: Informe de Priorización por Índice de Condición del Puente (ICP) .....	104
Figura V-13: Informe de Priorización por Índice combinado del Puente (IP).....	105
Figura V-14: Informe de Inspecciones cercanas y atrasadas .....	105
Figura V-15: Informe Detallado del Puente.....	106

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes generales de la investigación**

Una red de transporte es importante para el desarrollo social y económico de un país. Dentro de esta red parte importante de la conectividad está dada por los puentes. Un puente vial es una estructura que permite la continuidad de un camino sobre un obstáculo. Pudiendo variar los materiales de construcción, estructuración y tipo de obstáculo sorteado. Los puentes hidráulicos son los que atraviesan un curso de agua y constituyen el tipo más complejo de puentes debido a los problemas de solicitaciones adicionales y deterioros asociados al elemento hidráulico. De acuerdo al material existen puentes de acero, albañilería, hormigón o madera. Su uso está asociado a ventajas de costo, comportamiento y construcción en una situación específica, pero también a patologías propias de cada material. Cada tipología de puente presenta diferentes ventajas y desventajas, principalmente relacionadas con el costo de construcción de la estructuras y su comportamiento ante el obstáculo y sus dimensiones, especialmente la luz a sortear. Según la estructuración existen puentes colgantes, atirantados, reticulados, de vigas (gerber, simplemente apoyadas, continuas), alcantarillas super span, etc.

Los puentes son, junto a los túneles, las estructuras de mayor costo de construcción y mantenimiento dentro de la red vial. El mantenimiento incluye los costos directos de la ingeniería y construcción, más los costos de los usuarios y externalidades generadas por trabajos de mantenimiento. Adicionalmente, estos elementos determinan la conectividad que ofrece una red y son su principal fuente de vulnerabilidad, ya que al no estar operativos se pierde un parte importante de las posibilidades de transporte. El colapso de un puente tiene un elevado riesgo de pérdida de vidas humanas (Small et al, 1999), lo que junto a los problemas de transporte enunciados anteriormente, han determinado la necesidad primordial de realizar gestión de los puentes existentes, con el propósito de que éstos se encuentran en condiciones aceptables de seguridad y funcionalidad.

Se define como un Sistema de Gestión de Puentes (SGPu) a un procedimiento formal, para analizar datos de puentes con el propósito de asegurar las condiciones futuras de un puente, estimando la necesidad de mantenimiento de una red y recomendar proyectos, tomando en cuenta restricciones presupuestarias y de política (AASHTO, 1993). Un Sistema de Gestión de Puentes debe cuenta con tres elementos fundamentales:

- Una estructura organizacional adecuada.
- Un sistema para la organización y adquisición de información.
- Un sistema analítico de toma de decisiones.

El primer elemento es necesario para la asignación de responsabilidades y recursos que permitan realizar las tareas de gestión. La información requiere ser almacenada en una base de datos que reúna la información sobre la estructura durante su ciclo de vida, desde los datos de diseño y construcción hasta diferentes evaluaciones de su estado en el tiempo, junto a datos significativos como las solicitudes y actividades de conservación utilizadas por la agencia vial. La información se obtiene principalmente a través de inspecciones en diferentes niveles de profundidad (Gattulli y Chiaramonte, 2005), cuyos procedimientos deben estar adecuadamente establecidos. La toma de decisiones requiere de una metodología de priorización de inversiones basada en la condición del puente, la predicción de su evolución y la importancia del puente en la red.

Los puentes son un componente de la infraestructura vial, por lo que cualquier esfuerzo para su conservación debe estar relacionado con la conservación y nivel de servicio de la red en general (RIMES, 1999). Al invertir en gestión de puentes se deben considerar las políticas de conservación de pavimentos de las redes involucradas e intentar lograr un nivel similar entre el estado de los pavimentos, los puentes y otras estructuras de la infraestructura vial (De Solminihac, 2001). Esta investigación se centra en la gestión de los puentes, pero debe ser considerado dentro de un sistema mayor.

El desarrollo de un SGPU confiable constituye un desafío ingenieril importante, debido a la naturaleza múltiple de la tarea, la cantidad de información que se debe manejar y a la variabilidad de estructuras presentes. La calidad del sistema está directamente relacionada con la uniformidad de los estándares y criterios aplicados en la red, permitiendo realizar una priorización objetiva de las estructuras y sus necesidades de mantenimiento. Al enfrentarse al mantenimiento de un puente, el primer desafío es definir el límite de la vida útil de la estructura, el que depende de la pérdida de la capacidad estructural y pérdida de serviciabilidad. Es así como se ha definido que la vida útil de este tipo de estructuras se debe a una disminución de la seguridad que ofrece al usuario, lo que conjuga los dos elementos planteados anteriormente (Woodward, 2001). En la Figura I-1 se observa el desempeño de una estructura durante su ciclo de vida, siendo sometido a diferentes intervenciones mayores.

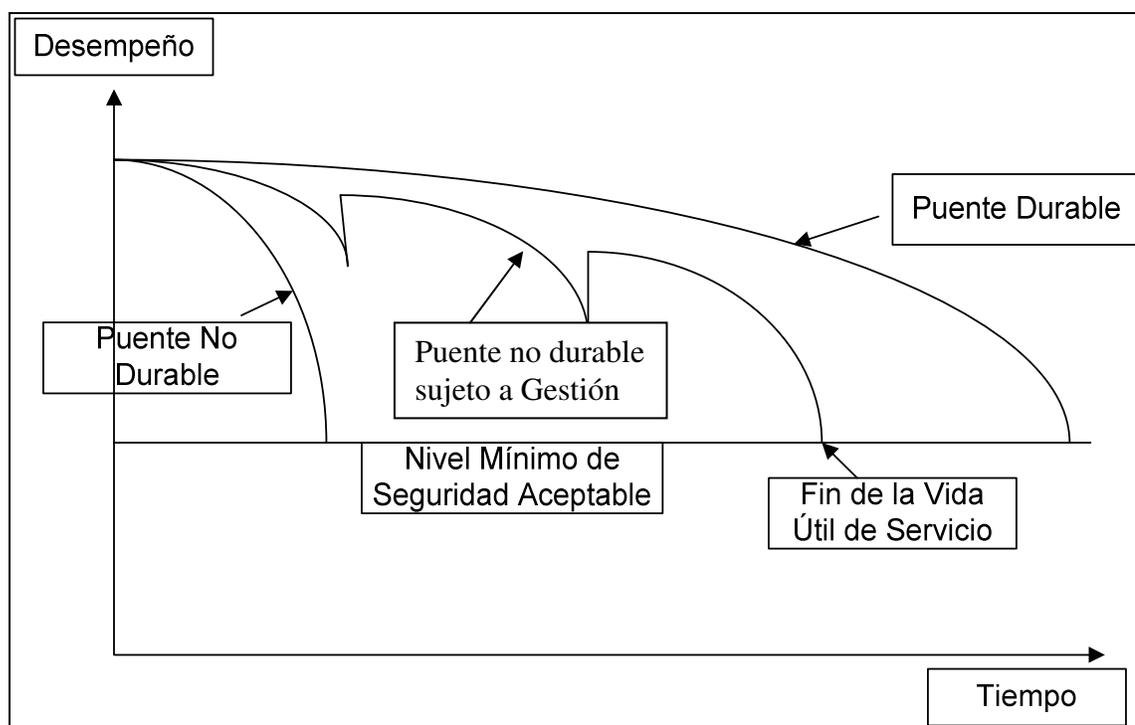


Figura I-1: Desempeño de un puente en su ciclo de vida (Adaptado de Woodward , 2001)

Actualmente en Chile existen sistemas que buscan solucionar esta problemática, siendo los principales el sistema De Pontibvs (Carracedo, 1994), sistemas privados de gestión de inventario de puentes y el sistema MAPRA (Vega et al, 1999). Los dos primeros permiten mantener inventarios de puentes de manera estructurada y entregan directrices para la inspección de puentes. De Pontibvs cuenta con un sistema de decisiones de inversión basado en la rentabilidad social de ésta, la que se determina en base a los costos de operación de los usuarios, definidos a partir del tránsito que circula por cada estructura (TMDA) y sus alternativas de viaje. El sistema de Mantenimiento de Puentes de la Región de Aysén (MAPRA) se encuentra inconcluso y reúne más componentes de un sistema moderno de gestión de puentes, pero su espectro se encuentra limitado a la zona geográfica de la Región de Aysén y no se ha concluido su desarrollo en cuanto a evaluación y priorización de estructuras.

A nivel mundial se han desarrollado diversos Sistemas de Gestión de Puentes, con variados niveles de profundidad y recursos requeridos. Se destacan los sistemas PONTIS y Bridgit en Estados Unidos, DANBRO en Dinamarca, BRIME y RIMES en la comunidad europea y el sistema Austroads en Australia. Pese a sus diferencias, estos sistemas tienen distintos niveles de gestión y basan su funcionamiento en tres elementos:

- Inspecciones visuales de la estructura y sus alrededores.
- Determinación de evolución de la condición del puente en el tiempo en base a modelos de deterioro probabilísticos o mecanicistas.
- Priorización del mantenimiento según las consecuencias de los posibles escenarios según el estado actual y futuro de las estructuras y el análisis económico de intervenciones de distinta magnitud en el ciclo de vida del puente.

A excepción de Bridgit (Hawk, 1999), todos estos sistemas tienen una visión de arriba-abajo, enfocándose en la optimización de la red de transporte, para luego analizar

la mejor opción para un puente a nivel de proyecto. En el capítulo II se profundiza en los elementos y descripción de los SGPu existentes.

Mantener las estructuras en una buena condición de serviciabilidad es complicado por la variedad de tipos de estructura, materiales y fallas que presentan los puentes; y por la interacción con el medio hidrológico y de transporte que involucran. Una falla se define como deficiencia, error, deterioro u omisión en el desempeño (RAE, 2004). En el caso de los puentes viales la falla puede ser el colapso de la estructura o la obsolescencia de ésta. Estudios realizados en Estados Unidos (White et al, 1992) indican que un 60% de las fallas de puentes se han debido a causas naturales como sismos y crecidas de ríos. Las fallas por problemas hidráulicos se debe a la socavación de las cepas o cambios en los escurrimiento debido a la obstaculización del flujo que genera el puente, esto provoca la acumulación de desperdicios y materiales en la base del puente generando nuevos escurrimientos y presiones en direcciones distintas a las del diseño, provocando la falla. En nuestro país la situación sería similar, estudios realizados recientemente por universidades y agencias viales demuestran que el diseño hidráulico y las condiciones geográficas e hidrológicas del país: altas pendientes y elevada velocidad del flujo son causantes de gran parte de los problemas de mayor gravedad presentados en puentes.

Los puentes ubicados en las principales carreteras han estado sujetos a un incremento substancial en el volumen de tráfico y de pesos desde su fecha de construcción. El desarrollo de tecnologías ha permitido la aparición de vehículos de mayor peso, los puentes más antiguos fueron calculados para camiones AASHTO H-15, cuyo peso era de 13,6 Ton. en tanto los camiones modernos podrían llegar a un peso de 75 Ton. Numerosos puentes de la red nacional de carreteras presentan daños importantes, como consecuencia de la acción agresiva de los agentes naturales y del crecimiento desmesurado de las cargas.

Por estas razones, las entidades responsables de la operación de redes carreteras deben considerar la conservación de los puentes como una obligación a fin de mantener los niveles adecuados de seguridad y servicio de las estructuras.

## **1.2 Definición del problema**

De acuerdo a un análisis de los Sistemas de Gestión de Puentes y las diferencias entre la práctica chilena y mundial se determinó que existen importantes oportunidades de mejora en la gestión de puentes. Se pudo establecer que las principales son:

- La priorización de conservación a nivel de red se realiza en base a una metodología débil que evalúa la rentabilidad de las inversiones de acuerdo al tránsito del lugar y a decisiones políticas.
- El sistema usado por el MOP, De Pontibvs, es una base de datos que almacena información capturada usando diferentes criterios cuyo uso se limita a un grupo de profesionales, y no considera elementos como la conectividad de la estructura, la ponderación de diferentes deterioros y la vulnerabilidad de la red vial. Se trabaja solamente a nivel de proyecto.
- La inspección de puentes utilizada en Chile se basa en la experiencia de las agencias e inspectores de puentes, ya que el procedimiento exigido por el MC-V7 define defectos y elementos de la estructura solamente. Existe una estructura de adquisición y manejo de información débil y no estandarizada.
- La conservación es reactiva más que proactiva. Se solucionan problemas de deterioros, pero no se estiman los riesgos existentes para las estructuras.

- La estructura organizacional tiene dificultades para abarcar todas las disciplinas involucradas en un puente hidráulico. Al determinar la condición de un puente no se consideran las diferentes solicitaciones que afectan a estas estructuras como el tránsito de vehículos pesados, solicitaciones sísmicas e hidráulicas. Es necesario que se considere el puente dentro de su sistema para obtener una visión completa de su estado.

Por todas estas limitaciones, se propone desarrollar una nueva metodología de gestión de puentes, que entregue herramientas de inspección, combine las distintas solicitaciones y que incorpore los procedimientos y apoyo analítico necesarios para priorizar estructuras y optimizar las inversiones en el mantenimiento de estas estructuras.

### **1.3 Hipótesis de trabajo**

Las hipótesis definidas para la investigación son:

- a) La priorización para la conservación de puentes a nivel de red se puede realizar mediante la ponderación lineal del estado de deterioro de un puente, su importancia y factores de riesgo que lo afecten.
- b) La importancia de un puente dentro de la red vial depende de sus características funcionales y geométricas. Este elemento debe ser incluido para priorizar estructuras.
- c) La asignación de acciones de conservación se puede realizar en base al índice combinado del puente y está determinado principalmente por su estado de deterioro.

## **1.4 Objetivos**

El objetivo general de esta tesis es desarrollar los elementos de un SGPU necesarios para poder priorizar puentes a nivel de red, para la conservación. Para esto se establecen los siguientes objetivos específicos:

- I. Desarrollar una metodología para establecer la importancia estratégica de cada puente dentro de la red vial.
- II. Desarrollar o perfeccionar una metodología de inspección de puentes para evaluar su condición.
- III. Elaborar una metodología para definir el nivel de daño de una estructura basado en los deterioros observados mediante la inspección visual de elementos y patologías.
- IV. Desarrollar un Índice combinado del Puente (IP) para la priorización que conjugue su importancia, deterioro y riesgos existentes.
- V. Definir y recomendar acciones de mantenimiento generales de acuerdo al índice combinado y los problemas observados. Las acciones pueden afectar tanto la oferta como la demanda.
- VI. Validar la metodología en base a la información disponible de estudios previos y la aplicación de inspección a distintos niveles en puentes reales.

## **1.5 Alcances de la investigación**

Dentro de todos los elementos involucrados en un sistema de gestión, esta investigación se centra en la priorización de estructuras a nivel de red. Desarrollando y

conjugando las herramientas necesarias para evaluar su condición general a través de un índice combinado, usado para la priorización. Este elemento es uno de los menos desarrollados en los SGPu en uso en Chile, por lo que se concentra en él los objetivos de la investigación.

Las herramientas de evaluación utilizadas se limitan a aquellas que no requieran la aplicación de ensayos destructivos. Estos ensayos se asocian a estudios detallados, los que no son elaborados en esta investigación. Se desarrolló el modelo del SGPu incluyendo todas las herramientas necesarias para su uso mediante inspección visual, considerando el uso de ensayos superficiales no destructivos.

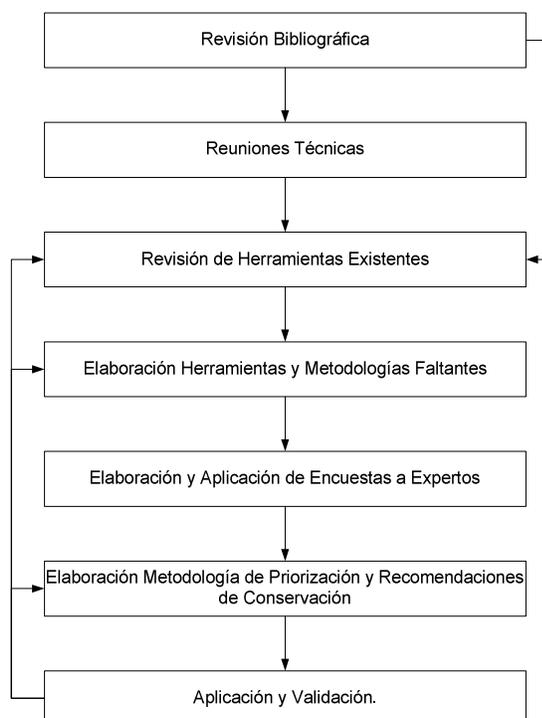
Se utilizaron modelos y herramientas preexistentes que solucionan algunos de los problemas de un SGPu, estas herramientas fueron modificadas de ser necesario y adaptadas al funcionamiento global de la metodología.

La metodología se centra en la gestión a nivel de red, se recomiendan proyectos y acciones de conservación globales, pero no se desarrollan herramientas detalladas utilizables a nivel de proyecto. En este nivel de acción sólo se definen los criterios de evaluación a utilizar.

Otra limitación existente fue que no se abarcan todas las posibles estructuraciones de puentes, y dentro de las consideradas no se validaron las herramientas en todas ellas. Los puentes utilizados para la aplicación y validación se limitan a la zona central de Chile con sus características climáticas e hidráulicas.

## 1.6 Metodología de investigación

La Figura I-2 muestra la metodología de investigación utilizada.



**Figura I-2: Metodología de investigación**

De acuerdo a la figura, lo realizado fue:

- Revisión bibliográfica:** en esta etapa se realizó una investigación sobre los conceptos más importantes de puentes, inspección de puentes y el estado del arte de los Sistemas de Gestión de Puentes a nivel internacional junto a los sistemas usados actualmente en Chile. A partir de esto, se obtienen directrices de trabajo. Se revisaron sistemas de inspección existentes y los criterios utilizados para la asignación de acciones de mantenimiento a distintos niveles de gestión. En esta

etapa los sistemas utilizados en el extranjero son la principal fuente de información, así como publicaciones de investigación a nivel nacional.

- b) **Revisión y adaptación de los protocolos existentes:** corresponde a la revisión de desarrollos anteriores de herramientas que conforman un SGP, como metodologías de inspección visual propuestas, catálogos de daño, índices de vulnerabilidad y procedimientos de trabajo. Estos desarrollados fueron modificados en caso de ser deficientes frente a los requerimientos establecidos y luego incorporados de manera funcional dentro del sistema.
- c) **Reuniones técnicas:** se sostuvieron reuniones con el Profesor Supervisor y su equipo de trabajo para ir analizando el avance de los desarrollos. Adicionalmente se sostuvieron reuniones con personas involucradas en la gestión de puentes e infraestructura pertenecientes a empresas privadas y el sector público, y con académicos especialistas en distintas áreas relacionadas a la ingeniería de puentes. La finalidad de estas reuniones fue documentar las prácticas y dificultades encontradas en el ejercicio profesional de la gestión de puentes e ir presentando y validando las herramientas en desarrollo.
- d) **Aplicación en terreno de inspección:** corresponde a la aplicación de las distintas herramientas desarrolladas a estructuras reales de la red vial. Con esto se comprueba la aplicabilidad de los procesos y corrigen elementos que generaban ambigüedad y distorsión de los resultados. Estos datos se incorporaron a los ya existentes como datos de entrada para la toma de decisiones de priorización y mantenimiento.
- e) **Aplicación de encuestas a expertos:** una vez determinados diferentes índices requeridos para determinar el estado global de un puente, se utilizó un panel de

expertos para combinar la información disponible en un índice que permitiera priorizar inversiones.

### 1.7 Plan de trabajo

La investigación se desarrolló en un período de 15 meses, de acuerdo al siguiente cronograma.

N°	Etapa	2007								2008							
		May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1	Revisión Bibliográfico																
2	Definición Propuesta de Investigación																
3	Desarrollo Conceptual de la Metodología																
4	Análisis de las Herramientas Existentes																
5	Desarrollo y Modificación de Herramientas																
6	Aplicación en Terreno																
7	Encuestas a Expertos																
8	Consolidación de la Metodología																
9	Validación de Resultados																
10	Automatización de la Metodología																
11	Recomendaciones y Conclusiones																
12	Redacción Documento																
13	Revisión Correcciones																
14	Paper																

Figura I-3: Cronograma de la Investigación

### 1.8 Resultados esperados

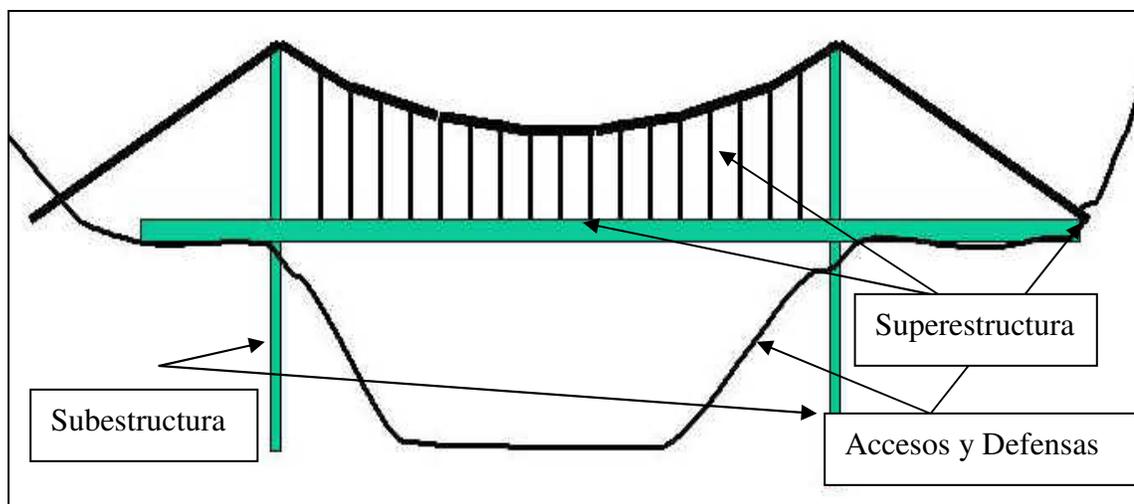
Al finalizar esta investigación se espera entregar los siguientes desarrollos:

- a) Una metodología que permita priorizar acciones de mantenimiento y determinación de acciones de conservación en base a un índice combinado.
- b) Metodologías para realizar inspección visual, determinar la importancia estratégica de un puente y analizar los riesgos sobre la estructura.
- c) Una rutina computacional que permita ejemplificar el uso de la metodología, en la que se analicen datos obtenidos de puentes reales.

## II GESTIÓN DE PUENTES. ESTADO DEL ARTE.

### 2.1 Elementos de un puente

Las tres partes que estructuran un puente se diferencian de acuerdo a su función. La superestructura comprende todos los componentes que permiten el tráfico. La subestructura es la parte que soporta la superestructura y el tráfico transfiriendo las cargas desde el puente al suelo. Los accesos y defensas incluyen todos los elementos complementarios que no aportan capacidad resistente. Los elementos principales de un puente se observan en la Figura II-1.



**Figura II-1: Elementos de un Puente**

La superestructura está compuesta por los siguientes elementos (Tonias, 1995):

- Cubierta.
- Superficie de rodado.
- Elementos primarios.

- Elementos secundarios.
- Apoyos.

La subestructura considera los siguientes elementos:

- Estribos.
- Cepas.

Los accesos y elementos complementarios cumplen propósitos distintos a soportar cargas, pero forman parte del sistema global que entrega funcionalidad a la estructura. Los principales elementos son:

- Protección de laderas:.
- Subdrenaje.
- Accesos.
- Barreras.

## **2.2 Clasificación de los puentes**

Los puentes se clasifican de acuerdo a su función, al material principal que lo constituye y a la estructura resistente que forman sus elementos primarios.

De acuerdo a la función existen:

- Puentes peatonales.
- Puentes carreteros o viales.
- Puentes ferroviarios.

De acuerdo a los materiales encontramos:

- Puentes de madera.
- Puentes de acero.
- Puentes de hormigón, ya sea clásico, pretensado o postensado.
- Puentes de albañilería.

Los puentes de madera se concentran en vías rurales de bajo tránsito y caminos no pavimentados donde el nivel de servicio es menor. Los puentes de autopistas o carreteras principales son predominantemente de hormigón, acero o una combinación de ambos materiales.

De acuerdo a la estructura los puentes se clasifican en (White et al, 1992):

- Puentes reticulados.
- Puentes de vigas.
- Puentes de una losa.
- Puentes de vigas caja.
- Puentes colgantes.
- Puentes en arco.

### **2.3 Sistemas de Gestión de Puentes**

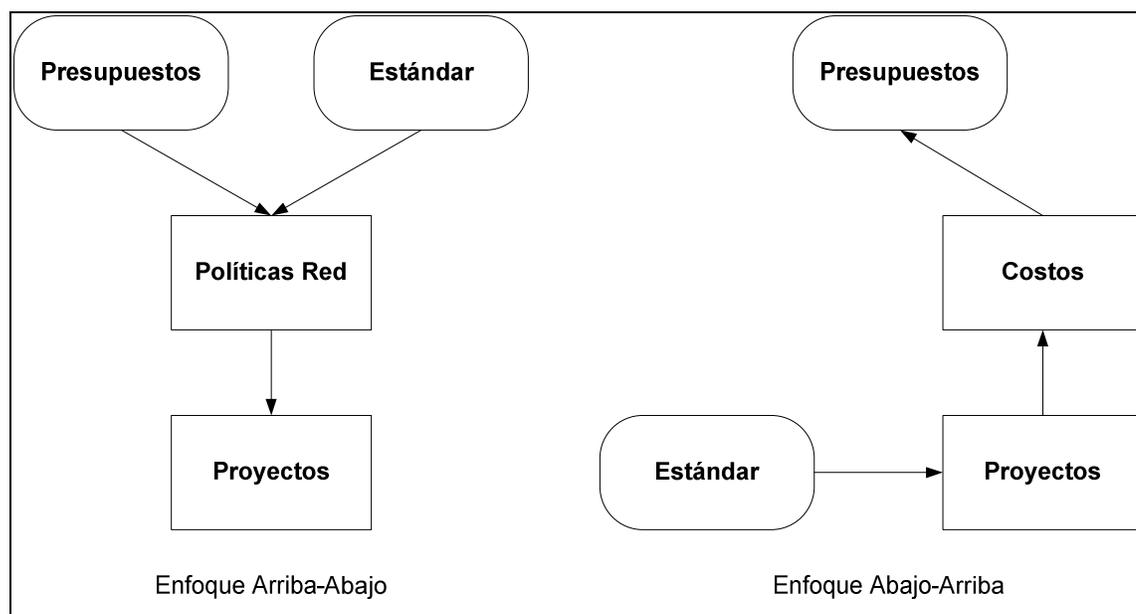
Un Sistema de Gestión de Puentes (SGPu) es una herramienta de apoyo a una agencia vial para la selección de estrategias y acciones que permitan una asignación óptima de recursos para el mantenimiento de su red de puentes, consistentemente con las políticas de la agencia y las restricciones presupuestarias existentes.

La gestión de puentes involucra todas las actividades dentro del ciclo de vida de un puente, desde su diseño y construcción hasta un eventual reemplazo, que permitan entregar seguridad y funcionalidad a sus usuarios. Para esto, un SGPu debe combinar

diversas áreas de la ingeniería como son la gestión, diseño, construcción, economía y variables medioambientales para asegurar que se adopten las decisiones correctas de mantenimiento en la red vial. Los principales objetivos de un SGPu son (de Solminihaç, 2001):

- Garantizar la seguridad de los usuarios
- Entregar un nivel de servicio adecuado para la ruta.
- Asegurar la conservación del patrimonio en el largo plazo a un costo óptimo.

Dentro de los SGPu existen dos enfoques que se diferencian en la manera de abordar la gestión de la red: el enfoque de abajo a arriba y el de arriba abajo (Small et al, 1999). El enfoque de abajo a arriba, determina las acciones óptimas para una estructura individual dentro de la red, basados en que la suma de las acciones óptimas a nivel individual entregarán el óptimo a nivel de red, posteriormente se corrigen y priorizan intervenciones de acuerdo a las restricciones presupuestarias. La visión de arriba abajo tiene un enfoque de red, se definen niveles de servicio esperados para la red y a partir de esto se determinan proyectos individuales a intervenir. Los diferentes enfoques de gestión se observan en la Figura II-2. Actualmente esta última visión se ha impuesto debido a la mayor rapidez con que se puede administrar una red con muchos puentes, y a menores recursos necesarios para esto.



**Figura II-2: Enfoques de un sistema de gestión (Adaptado de Small et al., 1999)**

Independientemente de la visión adoptada, los SGPu actúan a ambos niveles, en cada uno deben cumplir las siguientes exigencias mínimas:

A nivel de proyecto un Sistema de Gestión de Puentes debe ser capaz de entregar:

- Medidas de la condición de cada elemento estructural que componen un puente y del puente en si.
- La capacidad de carga de la estructura.
- La extensión y severidad de los diversos deterioros definidos y medidos en los elementos de un puente.
- Identificar las necesidades de mantenimiento de cada estructura.
- Entregar directrices sobre las estrategias a utilizar en cada puente.

A nivel de red un SGPu debe:

- Realizar la priorización de las estructuras a intervenir de acuerdo al estado de ellas y su importancia en la red.
- Sugerir acciones de conservación sobre la oferta o intervenciones de la demanda del puente.
- Incorporar las políticas de la agencia dentro del análisis. Como pueden ser la condición promedio de las estructuras.
- El presupuesto general que requiere la agencia para un período de tiempo determinado.

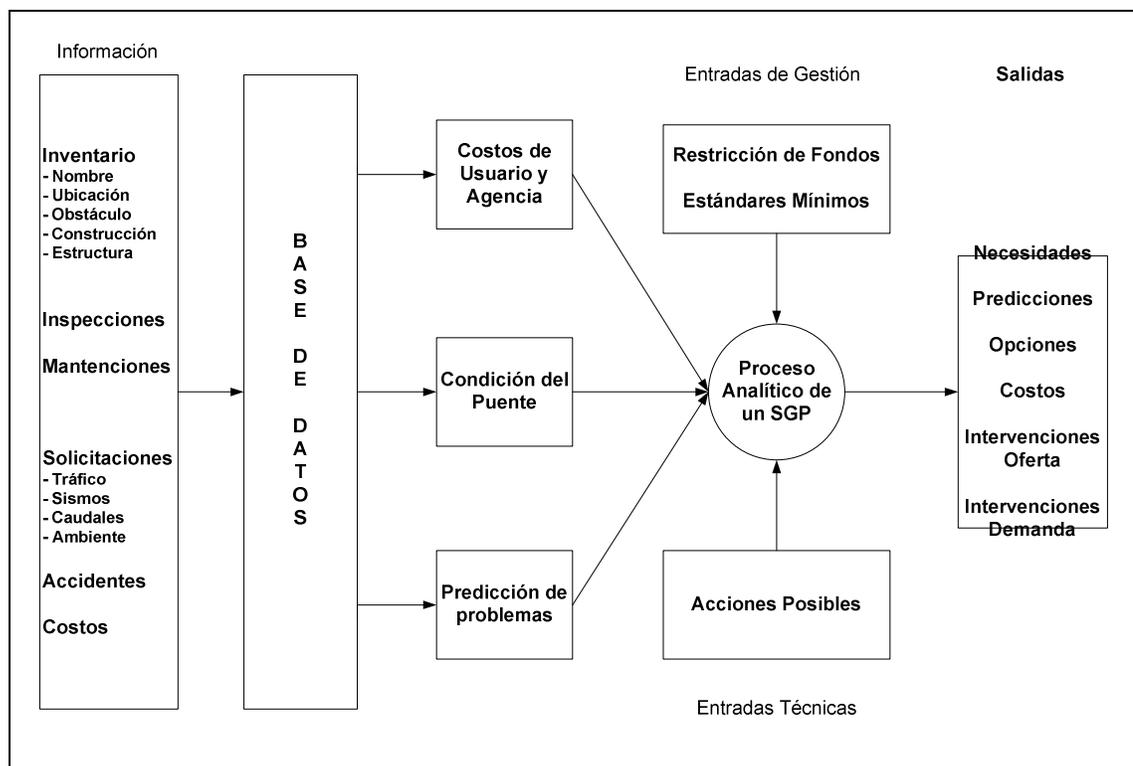
#### **2.4 Componentes de un Sistema de Gestión de Puentes**

Un SGPu es una herramienta compleja que está formada principalmente por una estructura organizacional, procedimientos generales, y un soporte analítico (Echaveguren et al, 2000). Los dos primeros elementos son la base para el funcionamiento del sistema y las tareas administrativas que requiere. Estos elementos otorgan estandarización a las actividades que conforman el sistema y permite asignar responsabilidades a los involucrados. El soporte analítico está formado por una base de datos y un subsistema decisional. La información es almacenada en una base de datos computacional que permite utilizarla para la determinación de la condición de la estructura y su evolución en el tiempo y la administración de la red; por su parte, el sistema decisional permite, a partir de la información recolectada, recomendar distintos niveles de intervenciones a las estructuras.

Conceptualmente, los elementos que componen un Sistema de Gestión de Puentes se pueden resumir en (Austroads, 2002):

- Una base teórica que defina los niveles de aplicación del sistema de gestión, indicando claramente las tareas ejecutables en cada nivel, los recursos involucrados y las posibles acciones a definir en cada uno.
- Una estructura organizacional que sea capaz técnica y administrativamente de realizar las tareas que involucra un sistema multidisciplinario como la gestión de puentes.
- Procedimientos que definan la forma en que se deben realizar las actividades técnicas y administrativas que componen el sistema.
- Una base de datos que contenga el registro de la información de la estructura durante su ciclo de vida de manera ordenada y toda la información que maneja la agencia para la gestión de puentes.
- Identificación de estrategias factibles, debe contener estrategias de acción definidas frente a los diferentes escenarios que puede presentar una estructura.
- Costos, modelos que permitan cuantificar los costos de agencia (construcción, inspección, mantenimiento, etc.) y usuarios en distintos escenarios.
- Restricciones de presupuesto, el sistema debe ser capaz de incorporar la restricción de presupuesto y priorizar las actividades de mantenimiento en base a la condición de las estructuras, su importancia en la red y los fondos disponibles.
- Proceso analítico de decisiones, un SGPu debe utilizar los datos de los módulos anteriores para sugerir acciones a nivel de red y proyecto que optimicen el uso de los fondos disponibles y respondan a las exigencias técnicas de la infraestructura considerada.

La Figura II-3 muestra la relación entre los componentes de un Sistema de Gestión de Puentes.



**Figura II-3: Componentes de un Sistema de Gestión de Puentes (Adaptado de Austroads, 2002)**

## 2.5 La Gestión de Puentes en Chile

En Chile la gestión de puentes se ha desarrollado de manera sistemática a partir de los años noventa, ya sea mediante sistemas adoptados por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), organismos regionales o empresas privadas. El MOP utiliza una combinación de la normativa exigida en el MC-V7 (MOP, 2000) y lo establecido en el manual De Pontibvs (Carracedo, 1994)

El sistema De Pontibvs tiene un enfoque de proyectos y cuenta con una base de datos en la que se ordenan los puentes de acuerdo a su ubicación geográfica y ruta a la que pertenecen. La adquisición de información sobre las estructuras se hace en base a

inspección visual que permiten definir la capacidad del puente. La priorización se hace en base a los costos de usuarios. El sistema considera las opciones de reparación y reemplazo, y ante posibles fallas considera el corte de la vía y la posibilidad de utilizar un puente mecano.

El MC-V7 establece las directrices de mantención e inspección a nivel de proyectos. Para esto considera dos niveles de gestión: uno desarrollado por los encargados de la mantención rutinaria de la red, enfocado en fallas que no afecten la estabilidad de la estructura; y otro, realizado por expertos, que pueden ser requeridos por el personal de mantención rutinaria ante un deterioro. Cada inspección debe ir acompañada de un informe, el que se basa en las láminas de inspección 7.204.3 A, 7.204.3 B, 7.204.3 C y 7.204.3 D; las que permiten definir de manera general las características del puente, su estado y las acciones de mantenimiento sugeridas, junto a un presupuesto de obra aproximado. Por último, el MC-V7 establece las soluciones técnicas más comunes utilizadas ante deterioros de elementos del puente, considerando su descripción, especificaciones técnicas y procedimientos de trabajo aceptados.

Este el sistema de Mantenimiento de Puentes de la Región de Aysén. Este sistema reúne los principales elementos de un SGPU moderno, pero se encuentra circunscrito específicamente a la red de la XI región. El sistema MAPRA (Vega et al, 1999) cuenta con una base de datos, que permite almacenar de manera codificada y ordenada todos los datos necesarios para el funcionamiento del sistema. La información se va actualizando en base a la inspección realizada. Se proponen seis tipos de inspecciones: de construcción, rutinaria, periódica, especial, de cuenca hidrográfica e hito. Ellas constan de codificación de elementos y deterioros a través de los cuales se calcula la condición de la estructura. Las inspecciones principales se realizan de manera periódica, mientras que las especiales se activan de acuerdo a los resultados de las principales. Se toman decisiones a nivel de red en base a estos indicadores técnicos. A

partir de esto se evalúan los posibles escenarios calculando los costos de usuarios y de las posibles acciones de mantenimiento a nivel de proyecto.

En Chile también existen SGPu desarrollados por empresas privadas dedicadas a la gestión de infraestructura. Estos sistemas ayudan a la toma de decisiones de mantenimiento, y en especial, al manejo de la información. Los sistemas privados existentes permiten:

- Gestionar el inventario de puentes de una red, identificando estructura, materiales y datos generales.
- Identificar estructuras en un Sistema de Información Geográfica, lo que permite una mejor representación de la información y una visión de la red general.
- Realizar seguimiento de los puentes organizando los resultados de las inspecciones hechas en terreno.
- Registrar mantenciones ejecutadas a las estructuras.
- Generar informes que agrupen la información de los módulos anteriores, ya sean estadísticas de condiciones, gráficos o las fichas exigidas por el MOP, por estructura o red.

La comparación entre los distintos sistemas se observa en la siguiente tabla:

**Tabla II-1: Comparación de SGPu usados en Chile**

SGP	Características Inspección	Manejo de Información	Importancia y Evolución	Uso
De Pontibvs MC-V7	- Se definen deterioros y responsabilidades -De Pontibvs almacena fichas. -Alta subjetividad	-Base de datos De Pontibvs. -Acceso muy restringido	- Análisis Económico de la inversión.	- Sistema computacional local.
MAPRA	- 6 tipos de inspección.	- Base de datos diseñada.	- Modelo de Costos de Usuarios.	- No se usa actualmente de manera oficial.
Otros SGPu	- Inspección según exigencias MC-V7	-Base de datos de estructuras, inspecciones y mantenciones. SIG	- No considera	- Sistema computacional para el manejo de la información

## 2.6 Sistemas de Gestión de Puentes Internacionales

A nivel mundial existen diferente SGPu desarrollados por las agencias viales, siendo los siguientes los más conocidos en la actualidad son PONTIS (Thompson, 1993) y Bridgit (Hawk, 1999) en Estados Unidos; BRIME (Woodward, 2001) y RIMES (RIMES, 1999) en la comunidad europea; DANBRO (Lauridssen y Lassen, 1999) y Austroads (Austroads, 2004) en Australia y Nueva Zelanda.

Los SGPu presentados comparten elementos como el manejo de datos y la inspección como fuente principal de información. Sin embargo, defieren en cuanto a la plataforma de uso, el rol del administrador del sistema, los modelos de deterioro utilizados y las acciones de mantenimiento obtenidas como salidas. La Tabla II-2 muestra un análisis comparativo de las principales características de cada sistema.

**Tabla II-2: Comparación de elementos principales de los SGPu**

<b>SGP</b>	<b>Características Inspección</b>	<b>Manejo de Información</b>	<b>Modelos de Deterioro</b>	<b>Plataforma de Uso</b>
PONTIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tres niveles de inspección.</li> <li>- Resultados almacenados a distinto nivel de detalle.</li> <li>- Se puede agregar información en cualquier momento del proceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos NBI.</li> <li>- Se ingresa en cualquier momento del proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos Markovianos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema computacional accesible de cualquier servidor de la red de agencias viales</li> </ul>
BRIME	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuatro niveles de inspección.</li> <li>- Inspecciones programadas en el tiempo y por deterioro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos</li> <li>- Diferentes niveles de acceso a datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos Mecanicistas.</li> <li>- Ajustes con sistema de redes neuronales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema computacional</li> </ul>
DANBRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuatro niveles de inspección.</li> <li>- Uso de ensayos invasivos sólo en casos especiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos de estructuras y costos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos Markovianos de largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema computacional de apoyo a decisiones tomadas por operador</li> </ul>
RIMES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuatro niveles de inspección.</li> <li>- No existe programa de inspección en el tiempo.</li> <li>- Uso de ensayos destructivos en niveles avanzados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base datos de pavimentos</li> <li>- Base de datos de estructuras.</li> <li>- Funcionamiento integrado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos Markovianos ajustados según ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema computacional con bases de datos integradas</li> </ul>
AUSTROADS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspección segmentada programada.</li> <li>- Cinco tipos de inspección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos extensa y detallada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulaciones probabilísticas de cambio de estado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema computacional de apoyo a decisiones tomadas por operador</li> </ul>

Si se observan los elementos necesarios y comunes de un SGPu se deduce que al desarrollar un nuevo sistema se deben mantener elementos mínimos como el manejo de información estructurada, el uso de inspección segmentada en diferentes niveles de profundidad y el apoyo de la toma de decisiones mediante un sistema computacional. El

nivel de influencia del sistema depende de la agencia que lo utilice. De acuerdo a investigaciones recientes (Wang et al, 2004) los sistemas europeos tienden a dar mayor preponderancia al usuario, otorgando versatilidad a su funcionamiento y una mayor responsabilidad a éste en la toma de decisiones; por el contrario, los norteamericanos son más propensos a automatizar los procesos, mejorando los tiempos de procesamiento de la información. Esta decisión depende de los recursos disponibles, tanto humanos como de desarrollo de programas y a las políticas de la agencia.

Otro elemento que varía de un SGPu a otro es el uso de modelos de deterioro. Lo más usado son modelos probabilísticos Markovianos, pero algunos SGPu han desarrollado modelos mecanicistas o usan redes neuronales. A la vez, existen otros SGPu que no basan su funcionamiento en modelos de deterioro y predicciones a largo plazo, sino que realizan la gestión de acuerdo al estado actual de las estructuras. La decisión sobre qué utilizar depende del horizonte de evaluación que se defina para el SGPu, los datos disponibles para el desarrollo de modelos y la confiabilidad que estos entregan al probarlos en diferentes escenarios.

## **2.7 Importancia Estratégica de los Puentes**

El sistema De Pontibus (Carracedo, 1994) incorpora en Chile el término Importancia Estratégica (IE), definido como la importancia de un puente dentro de la red vial en que se encuentra. Los diferentes SGP existentes también incluyen este concepto bajo diferentes nombres (Factor de Impacto, Índice de Importancia, etc). Este elemento es fundamental al priorizar las inversiones en mantención y rehabilitación de puentes, ya que refleja los beneficios para los usuarios por la existencia del puente y la alteración que sufrirá la red vial ante su falla.

Dentro de los SGP no existe consenso sobre los elementos que debe incluir la IE. Las principales diferencias conceptuales se deben a la poca objetividad de algunas

medidas utilizadas en su cálculo como el valor del tiempo de los usuarios, el valor de las cargas e incluso el contexto sistémico en que se encuentra el puente en estudio. Lo más utilizado es la cuantificación de los costos de usuario ante distintos escenarios; mientras que la tendencia opuesta es la cuantificación de la utilidad para los potenciales usuarios dentro de sus actividades cotidianas, valorizando los beneficios funcionales que les otorga este elemento debido al aumento de la accesibilidad. Debido a estas diferencias de enfoques, se analizarán las opciones disponibles y se propone una forma de cálculo de este índice.

El MOP actualmente, evalúa los proyectos en base al costo de operación ante distintos escenarios de mantención, rehabilitación y deterioro de las estructuras. Para decidir la inversión en un puente se miden los beneficios que entrega a la comunidad. “La capacidad de un puente permite hacer mayor o menor número de viajes para transportar carga y su ubicación permite realizar trayectos de menor longitud” (Carracedo, 1994), siendo esta la base de la toma de decisiones.

Los costos del transporte por la red se estiman en base a:

- Costos por accidentes.
- Costos por combustibles.
- Costos por lubricantes.
- Costos por neumáticos.
- Costos por mantenimiento de los vehículos.
- Costos del tiempo adicional de los usuarios.

Los costos antes mencionados varían de acuerdo a si el camino es pavimentado, de grava o de tierra. Se utilizan datos de costos actualizados periódicamente por estudios del MOP.

La evaluación de la rentabilidad de las inversiones se realiza mediante la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actualizado Neto (VAN) de cada proyecto. Debido a la metodología de cálculo de los costos y beneficios (ahorro de costos) el elemento preponderante en la selección de una inversión es el TMDA de un puente.

El sistema indica que cuando un proyecto no entrega una evaluación económica positiva, pero es importante a nivel estratégico para una comunidad, se debe reevaluar el proyecto de acuerdo al criterio de los encargados. Sin embargo, no establece los elementos a considerar en la nueva evaluación ni cómo definir que un puente es importante para una comunidad.

### **2.7.1 Enfoques internacionales existentes.**

Actualmente es posible encontrar varias metodologías para definir la importancia de un camino o una estructura que forma parte de él. Los sistemas de gestión de infraestructura actuales, así como diversas investigaciones sobre accesibilidad e inversiones entregan enfoques del tema. Los más importantes son:

- **Factor económico**

Este enfoque es la visión dominante para determinar la importancia de una estructura. Se basa en el análisis de los costos del ciclo de vida de un puente, enfocándose en los costos de operación de los usuarios por utilizar un puente, o no poder hacerlo debido a su estado, o comparando la alternativa actual con un estándar distinto de estructura. Es fundamental incluir estos costos en un SGP a nivel de proyecto, ya que las mejoras de estándar se reflejan en ahorros para los usuarios, tanto por costos de operación como por menor incidencia de accidentes (RIMES, 1999). El enfoque actual del sistema De Pontibus corresponde a una visión económica de los costos de operación.

- **Contexto funcional:**

Este enfoque, también conocido como factor estándar, se basa en los efectos de la estructura, su presencia y estado, en el sistema económico de su área de influencia. El grado de accesibilidad es la base de este sistema y determina la habilidad de los individuos para participar en actividades sociales y económicas en el sistema en que se encuentran insertos (Odoki et al, 2001). La falta de accesibilidad es uno de los factores críticos que inhibe el desarrollo económico y social, en especial en zonas rurales o centros urbanos que no son capaces de brindar todos los servicios necesarios, los puentes entregan gran parte de esta accesibilidad, por lo que se cuantifica su importancia según las variaciones en la accesibilidad para la población usuaria.

La accesibilidad se define como la oportunidad que un individuo en una posición específica tiene para participar en un conjunto de actividades. Esta depende del sistema de transporte, el tiempo, y de restricciones espaciales que limitan esta habilidad.

El modelo de restricciones tiempo-espacio de Hagerstrand (Hagerstrand, 1989) reúne estos conceptos, limitando el campo de acción de un individuo ubicado en un punto A, dentro de un lapso de tiempo  $t$ , a los elementos circunscritos en un área alcanzable desde A a una velocidad máxima  $v$ , determinada por sus medios y el sistema de transporte existente. Estos modelos trabajan en base a individuos, de manera desagregada, obteniéndose un valor para una locación al agregar los resultados de los múltiples individuos que componen una población. Este modelo ha sido perfeccionado por Odoki (Odoki, 1992) para su uso en países en desarrollo, incorporando restricciones de ingreso y pudiendo cuantificar los beneficios de la accesibilidad en términos monetarios y no monetarios.

El efecto cuantitativo de las mejoras en accesibilidad puede ser llevado a valores monetarios utilizando diferentes estrategias, dentro las que destacan la estrategia de velocidad y la de tiempo disponible (Howe, 1971). En ambos casos se puede determinar la importancia de una estructura en base a un valor monetario que representa la disminución del tiempo de viaje con o sin la existencia del puente.

- **Factor de Impacto**

El factor de impacto es una manera de considerar la importancia de un puente combinando su repercusión en la red y la funcionalidad de éste (Woodward, 2001). La repercusión incluye como elementos:

- Tipo de camino.
- Volumen de tráfico.
- Ubicación del puente
- Valor histórico del puente.

El factor de funcionalidad responde a las características geométricas del puente y a posibles problemas que este pueda presentar, se encuentra conformado por:

- Gálibo de la estructura.
- Ancho del puente.
- Existencia de desvíos a otras rutas.
- Restricciones de peso.

Este elemento forma parte del sistema BRIME y es uno de los índices usados para priorizar estructuras a nivel de red. La expresión final que permite obtener un índice es:

$$I_F = (IMF + FF) / 8.$$

Donde:

$I_F$  = Factor de Impacto.

IMF = Factor de repercusión.

FF = Factor de funcionalidad.

Cada factor se determina en base a curvas generadas por sistemas de redes neuronales.

### 2.7.2 Análisis de los enfoques.

Dentro de los enfoques enunciados en la sección anterior existen importantes similitudes. Los puntos en común a considerar son:

- a) **Importancia de los costos de usuarios:** en todos los sistemas se da preponderancia a los diferenciales de costos para los usuarios que representa la existencia y estado de un puente, aunque con importantes diferencias en la forma de cálculo.
  
- b) **Efecto del TMDA:** el nivel de tránsito de cada estructura es fundamental al determinar su importancia. Los costos agregados de los usuarios tienen una relación directa a la cantidad de usuarios. Desde el enfoque de beneficios económicos para la sociedad este es el elemento principal para definir una inversión. Sin embargo, este elemento no puede ser considerado de manera aislada, ya que se dejarían fuera muchos casos donde más allá del nivel de usuarios, los beneficios a nivel social y político de la estructura son fundamentales. La experiencia demuestra que usando este enfoque de forma aislada se privilegia a las estructuras ubicadas en los caminos principales de las zonas más densamente pobladas en desmedro de regiones aisladas.

c) **Importancia de alternativas existentes:** un elemento a considerar en el desarrollo de un índice de IE es la existencia de alternativas ante las limitaciones de uso de un puente. El modelo del factor económico presenta una metodología para cuantificar este efecto. Los otros modelos realizan entregan un valor cualitativo de este elemento.

Además de las similitudes, cada modelo tiene elementos particulares, ventajas y desventajas, que lo diferencian de los otros. El modelo del Factor Económico presenta la metodología más concreta de cálculo de costos de usuarios, pero no incorpora en ningún momento las particularidades del sistema socioeconómico en que se inserta el puente.

El modelo del factor estándar presenta un sistema complejo de cálculo, poco aplicable a nivel de red debido a la gran cantidad de información que se requiere. Para el uso de este modelo es necesario caracterizar a la población de cada localidad que sea potencial usuaria de una estructura, cuantificar los beneficios tangibles e intangibles que ésta representa para ellos. Un factor de este modelo cuestionado por otros autores es la valorización del tiempo de las personas, debido a lo subjetivo de la medida.

El modelo de factor de impacto reúne la mayoría de los elementos presentados en los otros modelos y representa un estado de desarrollo superior a los otros modelos, al intentar combinar elementos provenientes de diferentes áreas. Su problema radica en las curvas de utilidad desarrolladas que no son extrapolables a otras realidades como la chilena. Sin embargo, este modelo entrega una base válida para el desarrollo de un índice de IE que reúne los elementos necesarios para asegurar que las inversiones se realicen en las estructuras que tendrán un mayor impacto en la red vial.

## **2.8 Inspección de Puentes**

Administrar un sistema complejo de puentes viales requiere de un conjunto de herramientas administrativas que ayuden a la toma de decisiones. Durante el proceso de toma de decisiones se realiza un esfuerzo importante para definir cual puente o elementos de un puente necesitan atención. Cualquier acción efectiva de conservación requiere un conocimiento de su condición actual. Este conocimiento se obtiene mediante la inspección.

La inspección se define como la obtención planificada de datos necesarios para conocer el estado de un puente en un instante dado. El proceso consiste en una revisión periódica de los elementos de un puente y el entorno de la estructura para cuantificar sus deterioros, con el fin de determinar su estado.

La inspección generalmente es un proceso manual llevado a cabo por personal especializado, aunque nuevas técnicas permiten la adquisición automática de datos mediante la utilización de equipos que detecten y cuantifiquen deterioros en distintos elementos de las estructuras (Wang et al, 2004). Con estos métodos aún no se obtiene un nivel de confiabilidad similar al de la inspección manual debido a la variedad de deterioros existentes (Elzarka et al, 1999). La inspección de puentes debe ser capaz de abarcar cualquier tipología estructural y material de construcción.

### **2.8.1 Niveles de inspección**

La inspección se realiza en diferentes niveles de profundidad, asociados a niveles de gestión y disponibilidad de recursos para llevarla a cabo. Al variar de un nivel a otro, la inspección puede ir desde una opinión subjetiva basada en la observación directa de la estructura, la cuantificación de deterioros en base a observación, juicio experto e

instrumentos simples (principalmente de medición, accesibilidad y seguridad) hasta la realización de ensayos destructivos como toma de testigos de hormigón, cupones de acero o ensayos destinados a medir la presencia y severidad de diversas patologías como la carbonatación o corrosión.

Al trabajar en un nivel más detallado de inspección se cuenta con información más certera que permite tomar decisiones más precisas respecto a las actividades de mantención y rehabilitación a desarrollar e incluso cuantificar los costos de las opciones a nivel de proyecto. De acuerdo a los tipos de inspección propuestos por los SGP estudiados, se utilizarán los siguientes tipos de inspección: inspección rutinaria, inspección general, inspección detallada, inspección de construcción e inspección hidráulica.

## **2.9 Vulnerabilidad Hidráulica**

Hidráulicamente, los puentes son estructuras que permiten el paso de un camino sobre un curso natural de agua permitiendo su funcionamiento normal. Las características hidráulicas del flujo influyen en que la estructura y el lecho mantengan sus características en el tiempo, asegurando el normal funcionamiento del puente. Las fallas hidráulicas son la principal fuente de problemas y deterioro en los puentes en Chile, debido a las condiciones topográficas del país, problemas en la ingeniería básica de los proyectos y las dificultades para conciliar el diseño hidráulico con el diseño geométrico del camino.

La vulnerabilidad hidráulica se define como la probabilidad que tiene una estructura de fallar o presentar deterioros graves debido a las fuerzas hidráulicas dadas su configuración, las características del entorno y el grado de mantención de sus elementos (AASHTO, 1998). La vulnerabilidad hidráulica va cambiando durante el

tiempo según las variaciones de las características hidráulicas por procesos naturales u antropogénicos.

### 2.9.1 Factores de la vulnerabilidad hidráulica

Los elementos a considerar para determinar la vulnerabilidad hidráulica de una estructura incluyen aspectos de la geografía de la zona, características del río y características de la estructura (Melville y Coleman, 2000), siendo fundamental la interacción entre los distintos componentes de este sistema:

- **Características del canal y la geografía:** Los principales elementos determinados por el emplazamiento geográfico y que afectan la relación entre el puente y el sistema son la presencia de planicies de inundación, morfología del canal y estabilidad de taludes.
- **Características del río y flujo:** Existen varias características de los ríos, tanto de su morfología como de su flujo, que deben ser analizadas para determinar la vulnerabilidad de la estructura, las más importantes son (DICTUC, 2006) el tipo de río, la presencia de islas, deltas y abanicos aluviales, transporte de sólidos y distribución de los flujos.
- **Características de la estructura:** la geometría y tipo de puente determinan gran parte de la interacción de éste con el río. Existen elementos fundamentales para disminuir la vulnerabilidad de la estructura y el deterioro de ésta por efectos hidráulicos, estos son: alineación vertical del perfil del camino, alineación horizontal del puente respecto al flujo, existencia y alineación de pilares, estribos y fundaciones, y por último, las aberturas para el paso del agua.

En general se debe buscar generar los mínimos cambios posibles al río, las alteraciones al trazado del río suelen ser ineficientes ya que después de un tiempo la depositación devuelve el río a su posición original.

### **2.9.2 Problemas hidráulicos de los puentes**

Los principales problemas que presentan los puentes se deben al transporte de sólidos tanto aguas arriba del río como en la zona donde este se emplaza. Existen problemas relacionados con el cambio de la morfología del canal, afectando los niveles de agua y cargas de diseño y otros al daño localizado o generalizado en las bases del puente (MDOT, 2007).

El canal del río puede presentar variaciones en la zona directamente bajo el puente como en las zonas contiguas aguas arriba y aguas abajo. Estos cambios pueden corresponder a depósito de materiales, arrastre de materiales, cambios en la dirección de flujo y alteraciones de las riberas. Los principales problemas son la aparición de remansos antes de los puentes, el aumento de velocidad de flujo bajo éste y la erosión del canal y las protecciones. El análisis de la vulnerabilidad hidráulica busca determinar los efectos del remanso y evaluar el funcionamiento hidráulico del sistema debido a la introducción de una contracción en el sistema. Los efectos principales son remanso (el incremento del nivel del río aguas arriba del puente, uno de los criterios más usados para analizar lo adecuado de las aberturas para el paso del agua) y erosión del canal.

La socavación es la pérdida de material en el lecho del río y los elementos de la subestructura por el arrastre de sólidos por parte del flujo. Se produce cuando el arrastre es mayor que el depósito de sólidos. Este es uno de los criterios más significativos del

análisis de vulnerabilidad hidráulica. Se tienen tres tipos de socavación (Melville y Coleman, 2000): natural, general y local, las que varían en su intensidad, extensión y causa.

La socavación puede producir la pérdida de soporte de los pilares y estribos tanto por el daño en los elementos en si como por el descenso del nivel del lecho. Esto puede desembocar en asentamientos diferenciales, pérdida total de soporte y el consecuente colapso de la estructura.

La socavación y observación de problemas hidráulicos de los puentes es un problema complejo que puede ser evaluado en múltiples niveles de detalle. Los datos disponibles para la evaluación varían desde datos observados en una inspección visual u obtenidos mediante análisis de los registros hidrográficos y geográficos hasta detallados análisis y mediciones de la hidrología, transporte de sedimentos y socavación (NYDOT, 2003).

## **2.10 Riesgo Sísmico**

Los daños que históricamente han sufrido las estructuras con los sismos demuestran que es necesario evaluar el riesgo sísmico de las construcciones. La incertidumbre es parte del diseño estructural de los puentes, por lo que este elemento debe ser incorporado dentro del sistema de diseño o evaluación de las estructuras. Los sismos producen daños que significan pérdidas económicas y riesgos financieros importantes para los administradores de las redes viales. Por ello, los puentes que necesitan refuerzo deben ser identificados, de acuerdo a sus deficiencias estructurales y se deben priorizar al invertir en mantenimiento y rehabilitación.

La modelación del comportamiento de las estructuras es un área bien desarrollada y entrega resultados confiables; sin embargo, las deficiencias se encuentran en la obtención de información de las estructuras más antiguas. Sin esta información, la

modelación de la respuesta de la estructura no entrega confiabilidad de estar representando el comportamiento real que presentará el puente ante la ocurrencia de un sismo (Maldonado et al, 2002) es por esto que una metodología que deba ser aplicada a estructuras nuevas y antiguas debe ser capaz de entregar resultados con poca información disponible. Se ha definido que los parámetros más influyentes en la respuesta sísmica de la estructura son los tipos de estribos, pilas y fundaciones, las características del suelo de fundación y la longitud y tipo de apoyos.

El riesgo sísmico de una estructura está determinado por la amenaza sísmica y la vulnerabilidad estructural. Estos elementos no pueden ser evaluados mediante una inspección visual, pero si se pueden modelar con poca información. La amenaza sísmica es un valor intrínseco del lugar geográfico en que se encuentra una estructura y responde al nivel de sollicitación sísmica que puede sufrir el puente debido a la interacción de las distintas fuentes sísmicas que tienen efecto en su ubicación. La vulnerabilidad estructural es cuando daño puede sufrir el puente según su configuración para cierto nivel de amenaza.

### **III METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE PUENTES**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se presenta la metodología de priorización propuesta junto con la metodología de investigación empleada para conjugar los distintos índices utilizados.

#### **3.2 Enfoque de la metodología**

De acuerdo a investigaciones realizadas en Francia (Llanos, 1992), una política a corto plazo en gestión de puentes tendrá efectos rápidamente, no se optimizará el costo de la red durante el ciclo de vida de las estructuras, pero si se mejorará su condición. En el caso chileno, el estado actual de las estructuras impide una planificación basada en el ciclo de vida de las estructuras, ya que los requerimientos de recursos inmediatos superan los fondos disponibles y porque no existe información confiable de gran parte de los puentes en uso actualmente que permita predecir las curvas de deterioro. Por lo tanto, las agencias deben decidir en cual estructura invertir cada año. Ante esto, la política más apropiada no necesariamente consiste en reparar las estructuras en peor condición de deterioro. Por ejemplo, puede ser preferible reparar una estructura de mayor importancia en la red o una que pueda deteriorarse más rápidamente aunque esté en mejor condición.

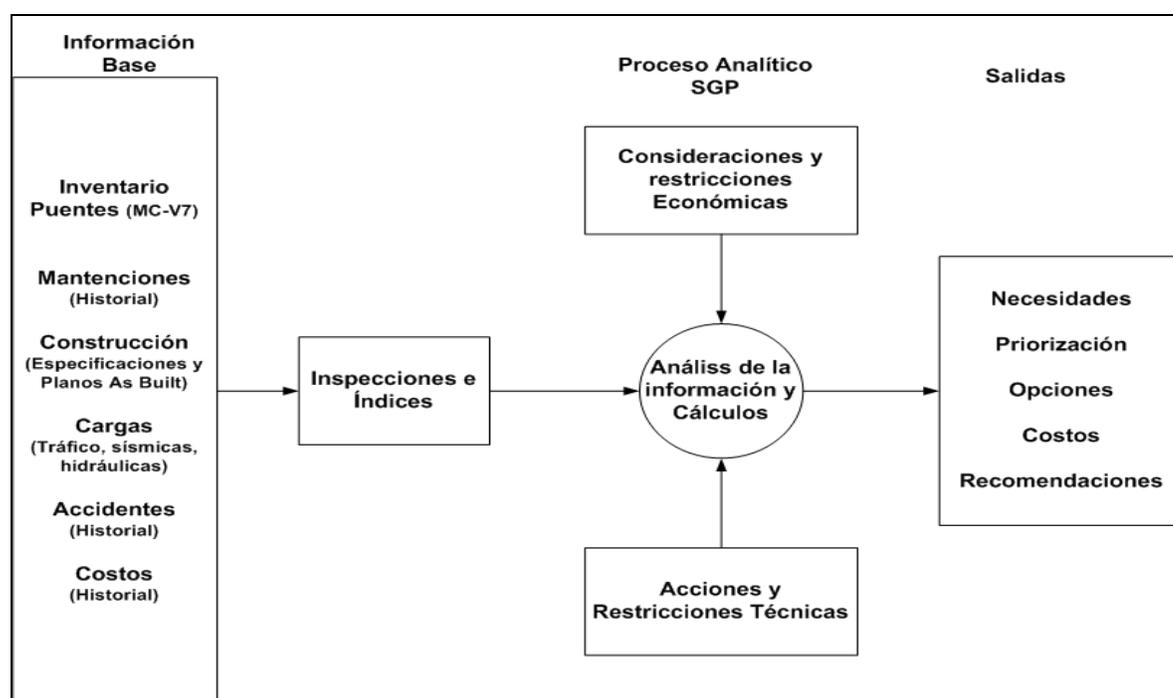
Siguiendo las tendencias mundiales, el sistema propuesto trabaja primero a nivel de red (enfoque arriba-abajo), para una vez seleccionado un proyecto, elegir a ese nivel la solución de los problemas observados.

Otro elemento a considerar al utilizar un SGPU es no olvidar la importancia del juicio ingenieril, el que seguirá siendo necesario e importante, pese a la sofisticación de las herramientas (Testa y Yanev, 2002). La decisión sobre priorización se debe hacer en base al juicio de la agencia encargada de la administración del sistema, mientras que los sistemas se encargan del almacenamiento y manejo de datos y de sugerir criterios para la

gestión de la red. El resultado entregado por un SGPU computarizado debe ser cuidadosamente estudiado para considerar todos los factores externos no considerados por el programa. Las diferencias en configuraciones de los puentes o condiciones locales que enfrenta la estructura deben ser consideradas por el profesional usuario del sistema.

### 3.3 Descripción general de la metodología

El sistema propuesto, de acuerdo a los elementos de un SGPU se observa en la Figura III-1



**Figura III-1: Metodología de Gestión de Puentes Propuesta**

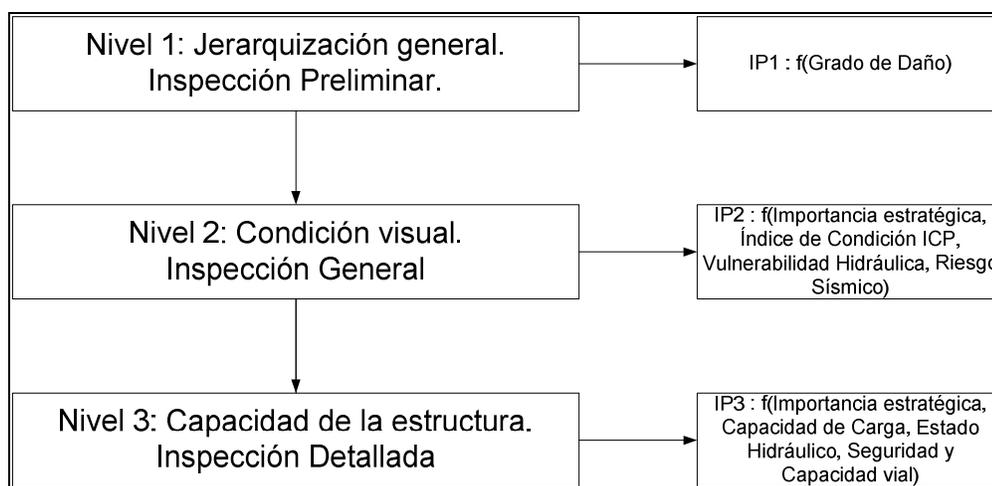
Para la elaboración de la metodología, se consideran los componentes que debe poseer un sistema de gestión (Moreira, 1987; citado en De Solminihaç, 2001): un

sistema de manejo de datos, procesos de recolección de información, índices y parámetros de gestión, un método de priorización y la elección de técnicas de conservación. Según la figura III-1 se tiene

- **Información:** corresponde al manejo de toda la información incluida en el sistema. En este caso debe incluir la información de inventario, estructuración y estado de los puentes, inspecciones realizadas, historial de daños y reparaciones, costos, políticas de agencias y estándares exigidos, acciones de mantenimiento y rehabilitación.
- **Inspecciones e índices** se utilizarán distintos tipos de inspección basados en inspección visual más un nivel de mayor detalle basado en la ejecución de ensayos y estudios detallados. La información obtenida pasa a la base de datos de las estructuras. Los índices usados en este caso entregarán un Índice combinado del Puente (IP), éste cambiará de un nivel a otro según la información disponible, pero en el nivel de inspección visual combina un Índice de Condición del Puente que refleja su estado de deterioro, un Índice de Vulnerabilidad Hidráulica, Índice de Riesgo Sísmico e Índice de Importancia Estratégica de la estructura. Cada índice individual será desarrollado en los capítulos siguientes.
- **Análisis y cálculos:** consiste en una submetodología de toma de decisiones para priorizar inversiones en conservación. Se basa en la priorización de acuerdo al Índice del Puente.
- **Salidas:** a nivel de red se entregan directrices globales. Al seleccionarse un proyecto se analizarán las posibles soluciones de acuerdo a directrices técnico-económicas. Esta decisión requiere la elaboración de ingeniería más detallada y mayor información.

### 3.4 Niveles de Gestión e Índice combinado del Puente

Los SGPu trabajan en distintos niveles de profundidad, buscando optimizar los recursos utilizados. En este trabajo se han desarrollado detalladamente los niveles que no requieren el uso de ensayos destructivos, tal como se expuso en la propuesta de investigación. Sin embargo, el sistema completo cuenta con tres niveles jerárquicamente establecidos. La Figura III-2 muestra los niveles considerados.



**Figura III-2: Niveles de Gestión e Inspección**

Cada nivel posee un índice combinado que representa el estado global del puente, según la información disponible para ese nivel de detalle.

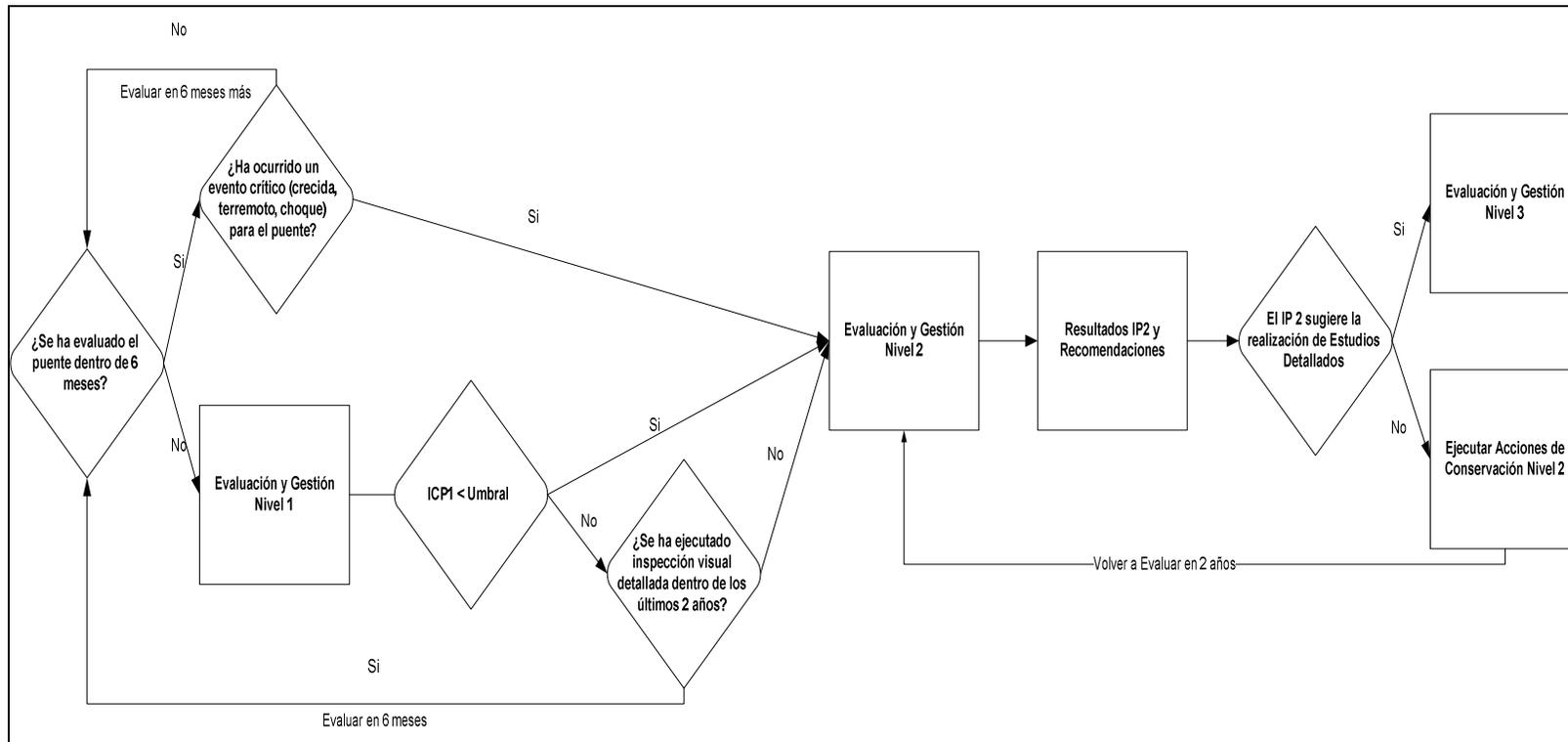
El primer nivel es un nivel de alerta temprana basado en el Grado de Daño estimado. El Grado de Daño es una aproximación subjetiva del estado de un puente

determinada anualmente por personal no experto, pero con capacitación en la detección de deterioros fácilmente visibles.

El segundo nivel se basa en la inspección general de las estructuras, a través de esta actividad, realizada cada 2 años, se determina el Índice de Condición del Puente ICP, que representa el nivel de deterioro de la estructura. Adicionalmente, se inspecciona el estado hidráulico del sistema puente-río y se determina el Índice de Vulnerabilidad Hidráulica. El análisis de las probabilidades de daño del puente por potenciales sismos nos entrega el Índice de Riesgo Sísmico y, por último, se determina el Índice de Importancia Estratégica para cada puente. La combinación de esta información permite obtener el IP2, que prioriza estructuras para estudios más detallados y recomienda acciones de acuerdo al estado observado. Debido a que gran parte del desarrollo se centra en este nivel, el sistema se bautizará como GEPUBIV sistema de Gestión de Puentes Basado en la Inspección Visual.

El tercer nivel considera estudios desarrollados por expertos en áreas específicas como tecnología de materiales de construcción, hidrología, análisis sísmico u otro, según los problemas detectados previamente. Este nivel no está diseñado para aplicarse de manera masiva, sólo ante eventos o detección previa de problemas. Las actividades a realizar en este nivel corresponden a ensayos para cuantificar la extensión y severidad de las patologías encontradas (López, 2008), analizar la capacidad de carga del puente, estudios detallados hidráulicos o estudios de la capacidad vial (TRB, 2000). En el Anexo A se detallan los posibles estudios a realizar. El uso de estudios detallados es consecuencia de los resultados de la inspección visual y adicionalmente, se recomienda la aplicación de algunos de los protocolos definidos cada cierto período de años (20 años comúnmente) para actualizar la información disponible. Los ingenieros de la agencia vial encargada de la administración de los puentes en estudio deben decidir la aplicación de estos estudios según los problemas observados en la inspección visual.

La combinación de estos índices generarán los IP de cada nivel de gestión. El uso de cada nivel de gestión se puede activar por un resultado preocupante al realizar un análisis en un nivel previo, por el paso del tiempo y la necesidad de actualizar la información disponible o por la ocurrencia de algún evento natural que revista un daño mayor a las estructuras como un terremoto o el rebalse de un río. En la Figura III-3 se muestra el diagrama de flujo del sistema desarrollado.



**Figura III-3: Modelo de Activación de Niveles de Inspección**

### 3.5 Mecanismo de priorización de estructuras

La metodología de priorización está regida por la activación de los niveles de gestión. De acuerdo a los fondos que dispone la agencia y el estado de la red se proponen distintos escenarios para la priorización de inversiones. De manera general se requiere conocer la siguiente información:

- La condición de cada puente.
- La condición de toda la red de puentes.
- Información sobre qué estructuras presentan riesgos por cargas hidráulicas y sísmicas.
- Importancia de cada puente de acuerdo a sus características y ubicación en la red.

Los índices desarrollados son la base de la priorización. Para esto se establece que el IP, combinación de los índices individuales es el principal filtro para otorgar fondos.

Una situación habitual que enfrentan las agencias es encontrar que los requerimientos superan a los fondos disponibles, ante esto se debe privilegiar anualmente a los que poseen un peor IP. Al realizar esta asignación se conoce un indicador general. Sin embargo, pueden existir deficiencias graves en algunos de los indicadores que componen el IP, es por esto que se han desarrollado los indicadores previos y se puede acudir a ellos para la toma de decisiones. El uso requiere utilizar el criterio ingenieril para determinar necesidades y prioridades en asignación de fondos.

Para el nivel de inspección visual el IP se calcula según:

$$\text{IP} = -1,411 + 1,299 * \text{ICP} + 0,754 * \text{VH} + 0,458 * \text{RS} - 0,387 * \text{IE} \quad (\text{EC. III.1})$$

**Sujeto a la restricción: IP mayor o igual a 1.**

Donde:

- **ICP:** Índice de Condición del puente. Se evalúa según los resultados de inspección visual segmentada.
- **VH:** Vulnerabilidad Hidráulica. Se evalúa según inspección visual.
- **RS:** Riesgo Sísmico. Se calcula de acuerdo a la amenaza del lugar y el posible nivel de daño que sufre el puente ante esa amenaza.
- **IE:** Importancia Estratégica. Se calcula de acuerdo a características geométricas y funcionales del puente.

### 3.6 Asignación de acciones de mantenimiento

Basados en la priorización y los índices que entregan una imagen del estado del puente se deben recomendar acciones a seguir a nivel agregado. Se consideran las siguientes posibles acciones sobre la oferta:

- **Hacer nada:** el estado actual del puente no amerita ejecutar acciones de mantención y/o reparación.
- **Mantención rutinaria:** es la mantención llevada a cabo regularmente durante la vida de la estructura. El tipo de mantención depende del tipo de estructura pero suelen ser limpieza de juntas de expansión y drenaje de la estructura, renovación de la pintura anticorrosión de los elementos metálicos, barreras de seguridad e iluminación del puente.
- **Conservación preventiva:** corresponde a actividades de conservación menores: sello de grietas, reparación de barandas que no tienen como fin devolver

capacidad a la estructura, pero si prevenir que siga perdiéndola o disminuir la tasa de deterioro.

- **Estudios detallados:** es la base del sistema de gestión escalonado. La salida de un nivel de gestión puede ser recomendar la ejecución de estudios correspondientes a un nivel superior de detalle.
- **Reparación:** corresponde a actividades para recuperar la capacidad original perdida debido a deterioros que están afectando la resistencia o funcionalidad del puente.
- **Refuerzo:** son actividades de conservación orientadas a recuperar la capacidad del puente y aumentarla respecto al estándar original para evitar que recupere el estado de deterioro actual.
- **Reconstrucción:** consiste en el reemplazo de la estructura por una de mayor estándar o de estándar similar cuando los deterioros impiden recuperar la actual de manera económica.

Sobre la demanda se pueden recomendar las siguientes acciones:

- **Limitación al paso de carga:** consiste en limitar el tránsito de vehículos pesados cuando no se puede asegurar la integridad de la estructura ante su circulación.
- **Estudios detallados sobre la demanda:** se puede recomendar estudios más profundos sobre el tránsito, limitaciones de paso u otro.

La asignación de acciones se basa en un criterio técnico, ya que no se cuenta con información necesaria para cuantificar los costos detallados, lo que se debe realizar a

nivel de proyecto. Esta asignación se debe realizar de acuerdo a la condición actual del puente y la seguridad que presenta para los usuarios. Para determinar la asignación de acciones de conservación se utilizan recomendaciones según el IP obtenido por el puente.

### **3.7 Directrices del uso del SGPu a nivel de proyecto**

Para determinar la estrategia óptima de mantenimiento a nivel de proyecto se deben minimizar los costos para mantener una estructura en un nivel aceptable de seguridad y serviciabilidad. Para esto se requiere información de inventario, resultados de las inspecciones realizadas y el historial de mantenciones de las estructuras. Esta información puede ser usada para determinar las opciones de mantenimiento correctas y asociarles costos, basados en datos de trabajos pasados y precios de mercado.

A partir de esto se debe realizar una evaluación económica de cada opción considerando los costos totales del proyecto: costos directos de la solución más los costos indirectos (administración y costos de los usuarios). Los costos de los usuarios incluyen costos de operación, costos asociados a restricciones de peso o ancho, costos de desvíos y costos de accidentes.

Al evaluar a nivel de proyecto, las decisiones de mantenimiento deben conjugar los criterios técnicos con los económicos. Las decisiones a considerar pueden estar enfocadas a un horizonte de largo plazo no definido, pero para mantener las bases del sistema de gestión se recomienda considerar dentro del análisis que las actividades de mantenimiento se realizarán en el corto plazo. Al analizar el costo total del puente se debe definir un horizonte de análisis, para lo que se puede estimar la vida útil remanente del puente.

Para definir las acciones de mantenimiento y rehabilitación a aplicar se tiene como primera entrada las recomendaciones de la gestión realizada a nivel de red. Se recomienda analizar las opciones de mantenimiento disponibles según lo recomendado definiendo actividades específicas según el material afectado, patología que se presenta, severidad de la patología y elemento afectado. Estas recomendaciones pueden ser del tipo sellado de grietas, refuerzo con placas de acero, etc. Para poder evaluarlas es necesaria una ingeniería detallada del problema que permita asegurar la idoneidad de la solución, el costo estimado, los efectos de la solución, la vida remanente de la estructura y la serviciabilidad que entregará la estructura después de su aplicación. Varias de estas estimaciones pueden tener un grado de subjetividad considerable. Sin embargo, se espera que la experiencia y lecciones aprendidas por la agencia vial permitan ir mejorando las estimaciones en el tiempo.

Una vez definidas las actividades que cumplen con los criterios técnicos exigidos, sus costos y consecuencias, la determinación de la mejor solución se hace en base a determinar el menor costo del ciclo de vida del puente. Para esto se debe considerar que el costo del ciclo de vida está dado por:

$$C = C_C + C_I + C_M + C_R + C_F + C_U + C_O - V_S$$

Cada elemento se define a continuación:

- **C: Costo total del ciclo de vida del puente.**
- **$C_C$  : Costo de Construcción.** Corresponde al costo directo de la construcción del puente, en caso de considerarse un reemplazo se debe agregar en esta parte.
- **$C_I$  : Costo de Inspección.** Son los costos de las inspecciones establecidas en el sistema, tanto de la mano de obra y equipos que realizan las inspecciones rutinarias como de los contratos de inspecciones mayores.

- $C_M$  : **Costo de las Mantenciones.** Corresponde al costo de las actividades rutinarias o reparaciones menores destinadas a mantener el puente en un estándar aceptable. Son costos relativamente constantes durante la vida del puente
- $C_R$  : **Costo de las Reparaciones o Refuerzos.** Incluye tanto el costo de la ingeniería y diseño de las reparaciones como las de su ejecución.
- $C_F$  : **Costo de Falla.** Incluye todos los costos relacionados a una falla que cause el cierre del puente desde daños mayores al colapso del puente. Depende directamente de la probabilidad de falla según el estado del puente e incluye el costo del reemplazo de la estructura, la pérdida de vidas y los daños a propiedad privada.
- $C_U$  : **Costo de los Usuarios.** Corresponde al costo diferencial para los usuarios en los posibles estados del puente frente a condiciones ideales de tránsito. Incluye costos mayores de operación de los vehículos, costo de accidentes y costos por los retrasos posibles.
- $C_o$  : **Otros Costos.** Se debe considerar cualquier costo adicional o externalidad surgida por el estado del puente o las actividades de mantenimiento ejecutadas.
- $V_S$  : **Valor Residual.** Es el valor estimado de la estructura al fin del período de análisis cuando este es menor a su vida útil.

Las alternativas estudiadas deben minimizar este costo total, cumplir con las exigencias técnicas y asegurar que el costo y probabilidad asociada de falla sea menor a las exigencias establecidas

## IV CÁLCULO Y CALIBRACIÓN DE LOS ÍNDICES DE GESTIÓN

### 4.1 Cálculo del Índice Combinado del Puente

Para ponderar los diferentes índices en el IP se utilizó la metodología Delphi para capturar la opinión de expertos. Esta metodología permite mediante una ronda de encuestas capturar el conocimiento de un panel de expertos. Para esto se plantean escenarios de puentes en distintas condiciones de deterioro, riesgo sísmico, vulnerabilidad hidráulica e importancia. Los expertos califican el estado global del puente. Los resultados obtenidos son analizados estadísticamente con el fin de obtener una regresión que resuma el conocimiento de los encuestados. Se conformó un panel de expertos en transporte, gestión vial, puentes, estructuras e hidráulica cuyas opiniones fueron capturadas mediante encuestas. El proceso utilizado y los resultados obtenidos se describen en las siguientes secciones.

#### 4.1.1 Factorial de escenarios

Dentro de las combinaciones posibles se seleccionaron los siguientes estados como representativos:

- **Índice de Condición del Puente (ICP):** se consideran cinco posibles estados definidos: excelente, bueno, regular, malo y peligroso. Se estima necesario considerar todos los estados al representar riesgos y condiciones muy distintas. La definición de cada estado y su forma de cálculo se observa en el Capítulo V.
- **Vulnerabilidad hidráulica (VH):** se consideran los estados baja y alta vulnerabilidad correspondientes a un escenario positivo y uno negativo. Se busca diferenciar entre ambos casos para poder valorar la vulnerabilidad hidráulica dentro del índice combinado del puente, por lo que con ambos escenarios se

representa adecuadamente la variabilidad existente. La determinación de distintos niveles de vulnerabilidad hidráulica se observa en el Capítulo VII.

- **Riesgo sísmico (RS):** se consideran los estados bajo y alto. Se busca solamente determinar a diferencia en el indicador combinado ante estos escenarios. El cálculo del Riesgo Sísmico se encuentra en el Capítulo VIII
- **Importancia estratégica (IE):** se consideran tres posibles estados: alta, media y baja. Con estos estados se abarca la gama de posibilidades que puede presentar un puente. El cálculo y significado de los diferentes estados de importancia estratégica se encuentra en el capítulo V.

El factorial de escenarios resultante se observa en la Tabla IV-1. Existen 60 posibles escenarios considerando las combinaciones planteadas.

**Tabla IV-1: Factorial de escenarios**

		Condición de Deterioro														
		Peligroso			Malo			Regular			Bueno			Excelente		
Importancia Estratégica		B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Riesgo Sísmico	Vulnerabilidad Hidráulica															
Bajo	Baja															
	Alta															
Alto	Baja															
	Alta															

#### 4.1.2 Desarrollo de la encuesta

Para el desarrollo de la encuesta, lo primero a realizar fue definir la cantidad de escenarios a considerar. Ante esto se definió seleccionar una cantidad adecuada para cubrir el rango de escenarios factibles, cuidando que el tiempo de respuesta no se

extienda demasiado privilegiando la calidad a la cantidad de respuestas. Inicialmente se plantearon 37 escenarios con los que se diseñó una encuesta piloto. Esta encuesta piloto se encuentra en el Anexo B. La encuesta piloto tuvo como objetivos:

- Realizar modificaciones de forma y fondo a la encuesta definitiva a aplicar al grupo experto.
- Definir el tratamiento de los resultados de la encuesta a aplicar.
- Evaluar si existe convergencia de los resultados.
- Realizar correcciones a la extensión de la encuesta definitiva.

Los resultados de la encuesta piloto entregaron convergencia de las respuestas en todas sus secciones, pero la necesidad de mejorar la explicación de varios factores y estados posibles. Además se debió reducir la extensión de la encuesta, limitándola a 20 escenarios. Para seleccionar los escenarios se siguieron los siguientes criterios:

- Una alta vulnerabilidad hidráulica se relaciona a un estado de deterioro medio o avanzado debido al rápido impacto en las condiciones de la subestructura.
- Un elevado riesgo sísmico no necesariamente se refleja en deterioros de la estructura ya que corresponde a un elemento que puede ocurrir, pero no necesariamente está presente de manera actual.

Se definió incluir los escenarios indicados en el siguiente factorial:

Tabla IV-2: Factorial de escenarios seleccionados

		Condición de Deterioro														
		Peligroso			Malo			Regular			Bueno			Excelente		
Importancia Estratégica		B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Riesgo Sísmico	Vulnerabilidad Hidráulica															
Bajo	Bajo			X		X			X					X		
	Alto	X				X		X		X		X		X		
Alto	Bajo		X		D			X				X		X		X
	Alto			X		X		X				X			X	

El escenario marcado con D corresponde a un escenario repetido incluido dos veces para verificar la consistencia interna de cada respuesta recibida.

#### 4.1.3 Aplicación y análisis de la encuesta

La encuesta definitiva se encuentra en el Anexo C. El documento fue enviado a 25 personas, 7 académicos, 5 del sector público y 13 privados. El tiempo de espera por la respuesta fue de 3 semanas, ampliada a 4 semanas. El análisis de las respuestas siguió la siguiente metodología:

- Se obtuvieron 17 respuestas, la información recepcionada se almacenó en una base de datos y se determinaron las variables representativas por escenario: promedio, desviación estándar.
- Se determinaron los límites de aceptación de cada respuesta y de expertos que se salgan de los límites de aceptación. Se determinó que el límite de aceptación por respuesta está dado por:

**Umbral de aceptación:** Valor promedio  $\pm$  2\*Desviación Estándar.

- Se determinó que un experto sería considerado fuera de rango cuando tuviera más de un 15% de respuestas fuera de los límites de aceptación. Se debieron excluir las respuestas de 3 expertos, uno del sector privado, uno del público y uno del académico.
- Se depuraron los datos mediante iteración y exclusión de respuestas y expertos hasta obtener los valores representativos de cada escenario: media, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación. Se confirmó homogeneidad de las respuestas en todos los escenarios.

Los valores representativos obtenidos se observan en la Tabla IV-3. En ella se observan la media de cada escenario usada para el análisis de regresión, la desviación estándar, los límites de aceptación de cada respuesta y el coeficiente de variación por escenario. El detalle de las respuestas se encuentra en el Anexo D.

**Tabla IV-3: Valores representativos IP**

ESC	ICP	VH	RS	IE	Media IP	SD	L Sup	L Inf	C Var.
1	2	2	4	5	<b>2,29</b>	0,83	3,94	0,63	36%
2	4	2	2	3	<b>4,82</b>	1,41	7,64	2,00	29%
3	1	4	4	5	<b>2,21</b>	0,80	3,82	0,61	36%
4	5	2	4	1	<b>7,85</b>	1,07	9,98	5,71	14%
5	2	2	2	3	<b>2,50</b>	0,76	4,02	0,98	30%
6	1	2	4	1	<b>2,92</b>	0,76	4,44	1,40	26%
7	2	4	2	1	<b>4,57</b>	0,85	6,27	2,87	19%
8	3	2	4	3	<b>4,92</b>	0,79	6,50	3,33	16%
9	3	2	2	1	<b>4,43</b>	0,85	6,13	2,73	19%
10	5	4	2	5	<b>6,93</b>	1,54	10,00	3,84	22%
11	4	2	4	1	<b>6,77</b>	1,01	8,79	4,74	15%
12	1	4	2	3	<b>2,79</b>	0,70	4,18	1,39	25%
13	3	4	2	3	<b>5,21</b>	0,70	6,61	3,82	13%
14	4	4	2	5	<b>5,86</b>	1,10	8,06	3,66	19%
15	5	4	4	1	<b>10,00</b>	0,00	10,00	10,00	0%
16	2	4	4	3	<b>4,62</b>	0,77	6,15	3,08	17%
17	5	2	2	3	<b>6,21</b>	1,93	10,00	2,36	31%
18	1	2	2	5	<b>1,00</b>	0,00	1,00	1,00	0%
19	2	4	2	1	<b>4,79</b>	0,97	6,74	2,84	20%
20	3	4	4	5	<b>6,00</b>	1,41	8,83	3,17	24%

#### 4.1.4 Modelo matemático para determinar el Índice combinado del Puente

A partir de los valores representativos de cada escenario se obtuvo un modelo matemático para la predicción del IP utilizando una regresión lineal mediante el método de los mínimos cuadrados secuenciales, el que relaciona una variable dependiente (IP) con varias variables independientes (IE, ICP, VH, RS) minimizando el cuadrado de las distancias verticales entre los puntos de los resultados reales y la línea de predicciones del modelo (Newbold, 2004). La ecuación obtenida es:

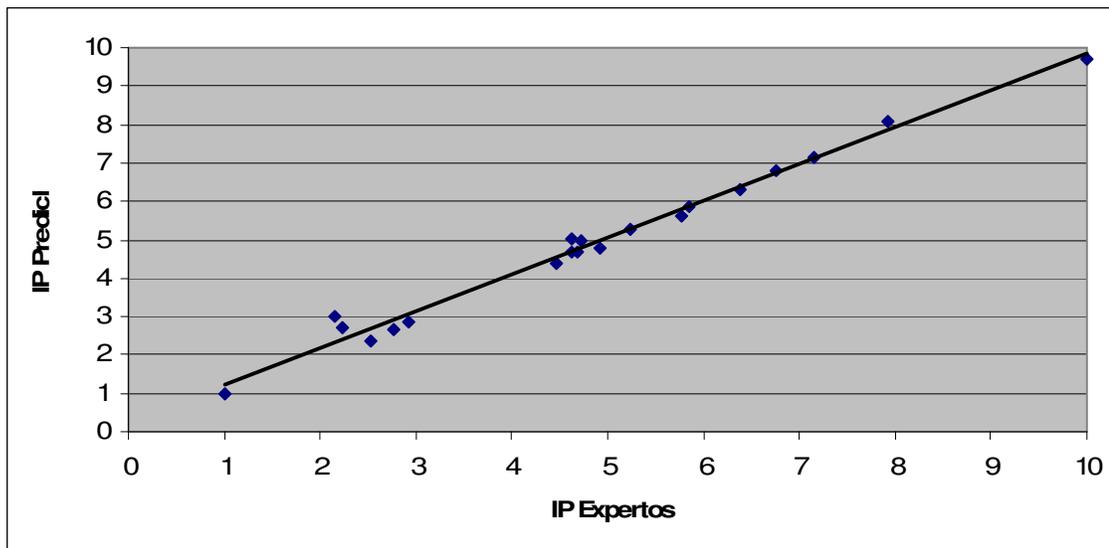
$$\boxed{IP = -1,411 + 1,299 * ICP + 0,754 * VH + 0,458 * RS - 0,387 * IE \quad (EC. IV.1)}$$

**Sujeto a la restricción: IP mayor o igual a 1.**

Cuando el IP predicho es menor a 1, automáticamente debe tomar ese valor al ser el menor de la escala. (Ver desarrollo en análisis de escenarios anómalos en Anexo D)

Para la ecuación desarrollada se tienen los siguientes estadísticos de correlación:

- Coeficiente de determinación ( $R^2$ ): 98,08%. Este coeficiente demuestra que la bondad del ajuste es cercana al 100%, ajuste perfecto. El ajuste de las curvas se observa en la siguiente figura:



**Figura IV-1: Gráfico de IP observado VS IP predicho**

- Error Estándar (S): 3,39%. Este valor representa la dispersión de los resultados alrededor de la regresión. El valor esperado era menor al 10% por lo que se cumple con los requisitos del análisis. El bajo nivel de error indica una alta confiabilidad de los resultados.

El análisis ANOVA de la regresión y de la significancia de cada variable independiente indica una significancia estadística de la regresión y cada una de sus variables. El análisis ANOVA entrega un valor de la F de Fischer (significancia de la regresión como un todo) de 360,49 valor que denota una probabilidad de 0.000, confiabilidad mayor a un 99%. Los valores para la significancia de cada variable independientemente se obtuvieron mediante el análisis de la t de Student, resultado que entregó significancia de todas las variables con una probabilidad de 0.000. El análisis general se observa en las siguientes tablas:

Tabla IV-4: Análisis de la ecuación como un todo (ANOVA)

	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico
<b>Regresión</b>	4	57,8	14,45	360,49896	0.00
<b>Residuos</b>	12	0,481	0,04		
<b>Total</b>	16				

Tabla IV-5: Análisis de la significancia de cada variable independiente

Variables	Coefficientes	Error Típico de los	Estadístico t	Probabilidad
<b>Constante</b>	-1,411	0,2656	-6,87	0,00
<b>ICP</b>	1,299	0,03778	34,68	0,00
<b>VH</b>	0,754	0,05315	14,94	0,00
<b>RS</b>	0,458	0,05108	10,55	0,00
<b>IE</b>	-0,387	0,03705	-9,76	0,00

El análisis de los residuos de la regresión permite determinar si el supuesto de linealidad de las variables independientes se cumple. Para esto se calculó el estadístico de Durban-Watson de la regresión y se observó la variación del signo de los residuos frente al orden de los datos. Los resultados obtenidos fueron:

- Durban-Watson (DW): 1,76. Este coeficiente demuestra que no hay correlación significativa entre los residuos (valores entre 1 y 3), por lo que se puede asumir linealidad de las variables independientes.
- Residuos VS Orden de los datos: entrega un patrón de puntos alternados a ambos lados del cero, confirmando la inexistencia de correlación en los residuos.

Los gráficos de los residuos y un análisis más detallado de ellos se observa en el Anexo D. Se concluye que el modelo desarrollado es válido. Adicionalmente se presentaron dos escenarios con residuos estandarizados muy altos, pero al analizarlos se

concluyó que el problema se debía al ajuste de curva en la zona baja del rango (IP menores a 1)

#### 4.2 Asignación de acciones de conservación.

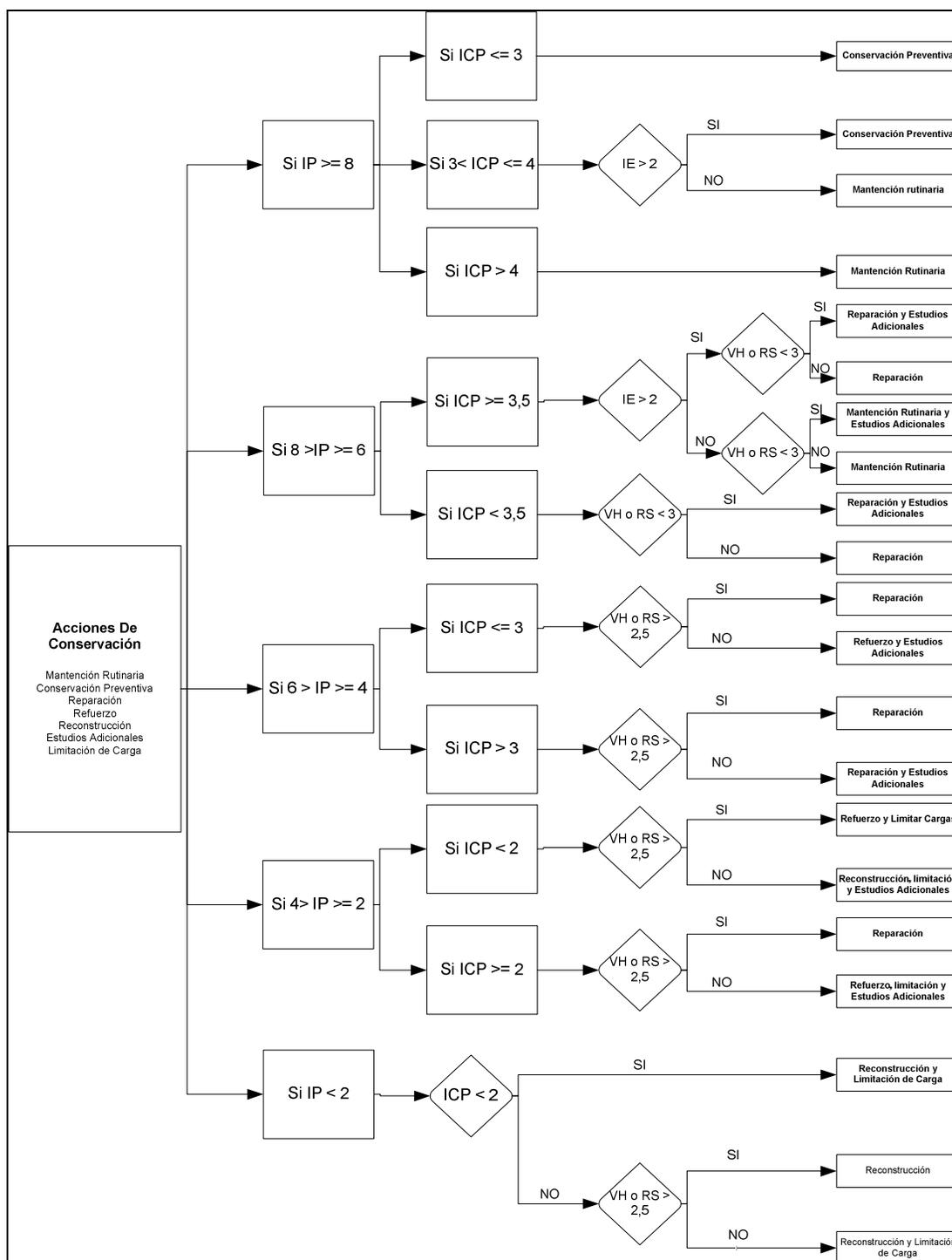
Para la asignación de acciones de conservación se utilizaron los resultados de las recomendaciones entregadas por los expertos en la encuesta para determinación del Índice combinado de Puentes. Los resultados fueron almacenados y ordenados para luego analizar la variación de las recomendaciones al variar el índice combinado. Una vez definidas las posibles acciones en cada grupo de IP, se evaluó el efecto de las variables independientes que lo componen en la asignación de acciones de conservación. El desarrollo se observa en el Anexo E. De los datos obtenidos se puede concluir:

- La distribución de acciones de conservación de acuerdo al IP está dado por:
  - i.  $IP > 8$ . Se recomienda mantención rutinaria (50%) y no hacer nada (44%).
  - ii.  $8 > IP > 6$ . Se recomienda mantención rutinaria (38%), estudios adicionales (25%), reparar (24%) y reforzar (10%).
  - iii.  $6 > IP > 4$ . Se recomienda mantención rutinaria (11%), estudios adicionales (27%), reparar (38%) y reforzar (14%).
  - iv.  $4 > IP > 2$ . Se recomienda limitación de carga (17%), estudios adicionales (17%), reparar (17%) y reforzar (29%) y reconstruir (20%).
  - v.  $2 > IP$ . Se recomienda limitación de carga (17%), estudios adicionales (6%), reparar (6%) y reforzar (6%) y reconstruir (67%).
  
- El Índice de Condición del Puente (ICP) define el grado de severidad de la acción ante IP similares. Por ejemplo, para dos puentes de similar IP y otras

características, pero donde el ICP es considerablemente menor en un caso que el otro, en el primer caso se recomienda reforzar y en el otro sólo reparar. En un 31% de los casos en que el ICP es 1 se recomienda reconstruir, mientras que cuando es 2, en el 35% se recomienda reparar.

- La Vulnerabilidad Hidráulica y Riesgo Sísmico se asocian a incertidumbre sobre la estructura y a un deterioro futuro mayor. Las acciones de estudios adicionales y limitación de carga son activadas por estas variables. Ante condiciones similares cuando cualquiera de estos dos factores de incertidumbre futura son altos se duplican las recomendaciones de estudios adicionales y limitación de carga (67%-33% EA, 61%-39% LC).
- La Importancia Estratégica al igual que el ICP permite diferenciar entre acciones de diferente profundidad como conservación preventiva y mantención rutinaria.
- Adicionalmente, no se recomienda la acción no hacer nada, ya que la mantención rutinaria es necesaria para mantener controladas las tasas de crecimiento de los deterioros.
- No se recomienda aplicar solamente mantención rutinaria cuando el Índice combinado del Puente es menor a 6 debido a que se asocia a un grado medio o mayor de daño.

De acuerdo a las políticas adoptadas y a la recopilación del conocimiento experto obtenido mediante las encuestas se ha desarrollado un árbol de decisión para la asignación de acciones de conservación que discrimina por el Índice combinado del Puente y luego por los subíndices que lo conforman. El árbol se observa en la Figura IV-



**Figura IV-2: Árbol de asignación de acciones de conservación**

### 4.3 Metodología para el cálculo de la importancia estratégica.

#### 4.3.1 Cálculo de la Importancia Estratégica

La IE debe ser un elemento diferenciador entre estructuras que se encuentren en similares condiciones estructurales al momento de asignar fondos para mantención, rehabilitación o mejora de estándar.

Para determinar la IE se ha desarrollado un índice multivariable. Las variables incluidas en este índice se determinaron en base a la recopilación del conocimiento experto de profesionales del área según lo expuesto en el Anexo F. Este índice pondera la importancia de cada factor que compone la IE, la ponderación se realiza en base a pesos ponderados según la opinión de expertos. Cada variable es calificada con una nota de acuerdo a una apreciación cuantitativa o cualitativa. Las notas por cada variable varían de 1 a 5, siendo 1 el caso donde el puente reviste menor importancia y 5 el de mayor. Se propone un índice que conjugue las siguientes variables:

- **Existencia de rutas alternativas:** el análisis de rutas alternativas se realiza según las perturbaciones al tránsito normal que significa la limitación del uso del puente. Se consideran los siguientes estados discretos posibles:

**Tabla IV-6: Calificación de posibles rutas alternativas**

Calificación	Nota	Descripción
Desvío posible con perturbaciones menores	1	Existe una estructura paralela en la misma vía que permite el tránsito en ambos sentidos con efectos menores de congestión.
Desvío posible	2	Existe una estructuras paralela pero con efectos considerables de congestión o caminos de estándar similar sin aumento importante de la distancia.
Desvío posible con perturbaciones significativas	3	Existen caminos paralelos de menor estándar con posibilidades de congestión o pérdidas mayores de tiempo y aumento de longitud de los viajes
Desvío posible con perturbaciones mayores	4	Los caminos alternativos están muy lejos (> 10 kms) y son de menor estándar. Congestión casi segura.
No existen posibles desvíos	5	No hay ruta alternativa.

- **Tránsito:** se estima a través del TMDA. Esta variable, junto a la anterior, es un representante de los costos de usuario a nivel agregado. La rentabilidad de un proyecto a nivel de costo social tiene como principal parámetro el TMDA de la vía. Se propone utilizar la categorización de caminos según tránsito del estudio de calibración de modelos HDM-4 (Barrera et al, 2003)

**Tabla IV-7: Calificación de tránsito por el puente**

Calificación	Nota	Descripción
Tráfico Bajo	1	TMDA < 1200
Tráfico Medio	3	1200 > TMDA > 3000
Tráfico Alto	5	TMDA > 3000

- **Entorno socioeconómico:** representa el medio social en el que se encuentra la estructura de acuerdo al tipo de locación geográfica en que se encuentra. Para poder cuantificar este elemento se utilizan los clusters productivos definidos en el Estudio de Infraestructura para la Competitividad (MOP,

2006). De acuerdo al estudio se tiene la siguiente segregación de importancia de los caminos según macrozona del país.

**Tabla IV-8: Calificación de puentes según el entorno socioeconómico.**

Calificación	Nota	Descripción
Zona Norte (I-II Región)	5	Caminos productos mineros.
	3	Caminos productos agrícolas o pesqueros.
	1	Otro tipo de caminos.
Zona Central (III-VI Región)	5	Caminos productos industriales, urbanos, vitivinícolas o agrícolas.
	3	Caminos productos mineros o pesqueros
	1	Otro tipo de caminos.
Zona Sur (VII- X Región)	5	Caminos productos forestales o agrícolas.
	3	Caminos productos lácteos o acuícolas
	1	Otro tipo de caminos.
Zona Austral (XI-XII Región)	5	Caminos productos pesqueros o acuícolas
	3	Caminos productos energéticos o forestales.
	1	Otro tipo de caminos.

- **Ancho del puente:** se evaluará las condiciones geométricas del ancho del puente frente a la funcionalidad que otorga según la siguiente tabla:

**Tabla IV-9: Calificación del puente según su ancho.**

Calificación	Nota	Descripción
Insatisfactorio	1	Calzada de 1 pista o más de una con problemas constantes para el paso de vehículos de todo tipo.
Satisfactorio	3	Puente de 2 pistas. Pueden existir problemas para el paso de vehículos pesados por el ancho, pero no para vehículos particulares
Muy satisfactorio	5	Puentes de 2 o más pistas sin problemas para el paso de vehículos de ningún tipo.

- **Largo del puente:** se evalúa el largo del puente, basados en el principio de que un puente más largo reviste mayor importancia debido a un mayor costo y a las dificultades ante un proceso de reconstrucción o de alternativas para

sortear el obstáculo si el puente pierde funcionalidad. El largo se califica de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla IV-10: Calificación de puentes según su largo**

Calificación	Nota	Descripción
Largo < a 30 m	1	Puente muy corto
30 m < largo < 50 m	2	Puente corto.
50 m < largo < 150 m	3	Puente de longitud regular
150 m < largo < 300 m	4	Puente largo
Largo > 300 m	5	Puente muy largo

- **Restricciones de peso:** se considera más importante un puente que está exento de limitaciones al paso de vehículos pesados a uno que si las posee debido a las posibilidades de transporte de mercaderías.

**Tabla IV-11: Calificación de puentes según restricciones de peso**

Calificación	Nota	Descripción
Restricciones muy severas	1	Puente cerrado al paso de vehículos de carga y/o en constante revisión al paso de vehículos livianos
Restricciones medias	3	Puente sin restricciones al paso a vehículos livianos, de pasajeros o de carga liviana. Restricciones al paso de camiones pesados.
Sin restricciones	5	No existen restricciones al paso de cargas.

Para el cálculo del índice final se obtuvieron los pesos de acuerdo a la utilidad otorgada por expertos a cada elemento incluido en la IE. Para esto se utilizó la técnica Delphi. Se compuso un panel de 25 expertos del área privada, pública y académica. Cada persona recibió la encuesta definitiva del Anexo F en la que debe cuantificar del 1 al 10 la importancia de cada factor dentro de la Importancia Estratégica del puente. El análisis de los resultados permitió definir cuales eran las variables significativas y cual

era su peso. Según los resultados se obtiene la siguiente expresión para la IE de un puente:

$$IE = 0,261 * Ae + 0,206 * TMDA + 0,193 * Ese + 0,093 * An + 0,133 * L + 0,114 * R \text{ (Ec. 4.2)}$$

Donde

*Ae* = Alternativas existentes.

*TMDA* = Calificación según Tránsito Medio Diario Anual.

*Ese* = Entorno Socio-económico.

*An* = Evaluación del ancho del puente.

*L* = Largo del puente.

*R* = Restricciones de paso.

La ecuación indica que los factores más importantes dentro de la Importancia Estratégica son las alternativas existentes ante una falla y el tránsito. Estos elementos reflejan los costos de usuarios siendo coincidentes con la visión económica de la importancia de un puente. El entorno socioeconómico y las restricciones de paso reflejan la funcionalidad del puente en su sistema, mientras que el ancho y largo representan las características de la estructura. El índice de Importancia Estratégica determinado combina las múltiples visiones existentes, tratando de objetivizar su cálculo y considerando las características físicas de la estructura y su ubicación dentro de la red vial.

#### **4.3.2 Validación del índice**

Para validar el índice de IE se plantearon diez escenarios con distintas características de puentes (configuración geométrica) y condiciones de la red vial (aumento de tiempo de viaje, entorno socioeconómico, tránsito). Se entregaron estos escenarios a 6 profesionales del área vial (3 nuevos y 3 que ya habían participado en la

etapa anterior) los que calificaron la importancia de la estructura del 1 al 10. Se consideraron los siguientes escenarios:

**Tabla IV-12: Escenarios de validación de IE**

Puente	TMDA	Alternativas	Entorno	Largo	Ancho	Restricciones
1	2500	Camino paralelo con menor estándar	Vitivinicola VI región	320	2 pistas sin dificultades de ancho	Sin restricciones
2	800	Alternativas muy lejos y bajo estándar	Forestal XI región	160	1 pista con problemas constantes de paso	Sólo vehículos livianos con precaución
3	2000	Camino paralelo con menor estándar	Rural RM	45	2 pistas con dificultades a veh pesados	Sólo vehículos livianos con precaución
4	500	No hay alternativa	Ganadero I Región	25	2 pistas sin dificultades de ancho	Sólo vehículos livianos con precaución
5	1400	Alternativas muy lejos y bajo estándar	Mínero IV región	75	2 pistas con dificultades a veh pesados	Livianos libres, veh. Pesados con restricción
6	1800	Estructura Paralela con congestión	Lácteo X región	280	2 pistas sin dificultades de ancho	Livianos libres, veh. Pesados con restricción
7	3500	No hay alternativa	Pesquero XII región	350	2 pistas con dificultades a veh pesados	Sólo vehículos livianos con precaución
8	4500	Estructura Paralela con congestión	Industrial V región	180	3 pistas sin problemas de ancho	Sin restricciones
9	3200	Estructura Paralela congestión menor	Mínero IX región	180	3 pistas sin problemas de ancho	Sin restricciones
10	1000	Camino paralelo con menor estándar	Pesquero II región	40	2 pistas con problemas constantes de paso	Livianos libres, veh. Pesados con restricción

De acuerdo a la ecuación planteada y definiciones de estado, el índice calculado para cada escenario sería:

**Tabla IV-13: IE calculado**

Puente	Tránsito	Alternativas	Entorno	Largo	Ancho	Restricciones	IE
1	3	3	5	5	5	5	4,066
2	1	4	3	4	1	1	2,568
3	3	3	1	2	3	1	2,253
4	1	1	1	1	5	1	1,372
5	3	4	3	3	3	3	3,261
6	3	2	3	4	5	3	3,058
7	5	5	5	5	3	1	4,358
8	5	2	5	4	5	5	4,084
9	5	1	1	4	5	5	3,051
10	1	3	3	2	1	3	2,269

En la siguiente tabla se aprecian las respuestas entregadas por los 6 profesionales. Se calcula la media y desviación estándar de las respuestas. Se comparan las diferencias entre el valor calculado mediante la educación desarrollada y los resultados de las respuestas, para esto se analizó la variación porcentual entre el valor calculado y el indicado por el panel, pasando todos los valores a una escala de 1 a 5. También se analiza la variación de las respuestas obtenidas.

**Tabla IV-14: Validación de IE**

Puente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Media	D.E.	Coef Variación	Calculado	Diferencia
1	10	8	7	9	9	9	8,667	1,033	12%	4,066	-7%
2	6	8	5	8	7	5	6,5	1,378	21%	2,568	-27%
3	3	4	2	4	5	3	3,5	1,049	30%	2,253	22%
4	2	4	3	7	5	2	3,833	1,941	51%	1,372	-40%
5	6	6	5	8	6	6	6,167	0,983	16%	3,261	5%
6	5	6	4	6	5	8	5,667	1,366	24%	3,058	7%
7	10	9	9	10	9	10	9,5	0,548	6%	4,358	-9%
8	8	10	7	10	9	8	8,667	1,211	14%	4,084	-6%
9	6	5	8	3	4	5	5,167	1,722	33%	3,051	15%
10	3	4	3	5	3	4	3,667	0,816	22%	2,269	19%

De los resultados se observa que 9 de los 10 escenarios presentan un coeficiente de variación menor a un 35% y 7 menores a un 30%, por lo que se acepta la homogeneidad de las respuestas. El escenario que no posee homogeneidad (4) presenta un puente sin alternativas, pero con un bajo tránsito, largo y ancho. La diferencia de enfoques justifica esta variación. Al observar las diferencias entre el índice de IE calculado y el entregado por los expertos, se aprecia que el mismo escenario es el de mayor variación. El resto de las variaciones van de -27% a 22%, presentándose consistencia entre lo predicho por la fórmula desarrollada y lo indicado por los expertos. Aceptamos como válida la ecuación para diferenciar y estimar la importancia de un puente.

## **4.4 Cálculo del Índice de Condición del Puente**

Para el cálculo del ICP se utilizan los datos obtenidos mediante una inspección visual del puente. Sin embargo, existen distintos tipos de inspección.

### **4.4.1 Tipos de inspección**

- **Inspección rutinaria**

La inspección rutinaria es una inspección superficial, esta se realizará cada seis meses, según las exigencias de la ley de concesiones y el ciclo de cargas hidráulicas que sufre el puente, definido por el crecimiento del río debido a las lluvias o deshielos. Su objetivo es detectar daños graves o cambios importantes en la estructura durante ese período. Esta inspección debe ser realizada por personal de la agencia vial, el que debe estar capacitado en aspectos generales de puentes y seguridad vial. A partir de esta inspección se define el Grado de Daño del Puente (G.D.) que es una nota subjetiva del estado de la estructura para cumplir su función. El Grado de Daño se puede asignar a la estructura completa o a cada grupo de elementos (subestructura, superestructura, accesos, elementos secundarios, etc.). El Grado de Daño se define según la siguiente escala (DICTUC, 2006):

Tabla IV-15: Grado de Daño

<b>Clasificación</b>	<b>Grado de Daño Global</b>
5	“Bueno. Nuevo o como nuevo”. Sin señal de deterioro. No necesita reparación.
4	“Funciona como se diseño originalmente”. Deterioro insignificante o daño que no reduce la capacidad de los elementos bajo inspección ni tampoco su capacidad de funcionamiento. Reparaciones menores se pueden hacer para aliviar el daño o eliminar el deterioro.
3	“No funciona como originalmente fue diseñado”. Deterioro serio y/o daño suficiente para reducir la capacidad estructural y funcional del elemento. Si se trata de un elemento primario su capacidad de carga ha sido reducida.
2	“Potencialmente peligroso” Esta clasificación de los elementos primarios implica que hay peligro de colapso bajo cualquier uso posterior de esta estructura, y el puente debe ser cerrado al tránsito inmediatamente. Cuando dicha clasificación se aplique a los elementos secundarios, esto puede ser causa de accidente de tránsito o peatonales y debe ser corregido de inmediato.
1	“Peligroso”. El puente debe estar cerrado daños no reparables y peligro de colapso o ya colapsado. Medidas inmediatas

Como resultado de esta inspección se debe entregar un informe que reúna los datos generales de identificación del puente, los daños detectados, los elementos comprometidos, la calificación cualitativa realizada y las labores de inspección sugeridas para mayor información en caso de ser necesarias. En el Anexo G se observan las fichas de inspección visual correspondientes a las fichas 7.204.3 A, 7.204.3 B, 7.204.3 C (MOP, 2000) y una ficha adicional de detección de deterioros.

- **Inspección general**

La inspección general o periódica es un tipo de inspección visual que analiza los deterioros de cada elemento de un puente (JICA, 1996). El personal que la ejecuta requiere entrenamiento y especialización para la detección y cuantificación de los deterioros de los distintos puentes. Como resultado de este tipo de inspección se obtiene

un registro con los deterioros por cada elemento del puente y la condición de ese elemento. Este registro es la base para determinar la condición de la estructura y debe ser actualizado cada 2 años. El equipo usado en este tipo de inspección es mínimo, principalmente para seguridad, accesibilidad a zonas complicadas del puente, registro del puente y medición de deterioros. En cada elemento del puente se evalúan distintos deterioros, según el material de construcción del que está compuesto. Otorgándosele al elemento una calificación de estado. La finalidad de este tipo de inspección es definir acciones de conservación o rehabilitación a nivel agrupado o establecer la necesidad de una Inspección Especial.

Esta tarea requiere el apoyo de una serie de documentos para estandarizar y facilitar la identificación del puente, sus elementos, deterioros y el manejo de la información obtenida. Las herramientas a usar se describen en la siguiente sección. El resumen de la inspección se realiza mediante la ficha de Inspección General Anexo G y la Ficha Resumen de Inspección General.

- **Inspección detallada**

Este nivel de inspección busca recolectar información precisa sobre el estado del puente. Se debe efectuar a estructuras que presentan defectos importantes en el nivel anterior. Su aplicación incluye ensayos en terreno y laboratorio que permitan determinar los daños efectivos y capacidad actual de la estructura y provean información suficiente para modelar el comportamiento del puente en su estado actual.

Debido a la especialización y equipamiento requerido, este tipo de inspección puede ser ejecutado por personal preparado y experto de la Dirección de Vialidad o por empresas consultoras, según la disponibilidad de los elementos necesarios para su ejecución.

La inspección detallada debe involucrar una revisión exhaustiva de la estructura. Sin embargo, la aplicación de ensayos se puede centrar en los defectos previamente detectados y las zonas comprometidas. Los ensayos a utilizar varían según el elemento y el material. Se consideran dentro de las inspecciones detalladas las pruebas de capacidad de carga, pruebas para determinar existencia y condición de pilotes y otros elementos de fundaciones, ensayos para determinar la existencia de armaduras y su corrosión, ensayos para determinar la calidad y estado de hormigones, ensayos para determinar la condición de la madera, modelación de la capacidad sísmica, evaluaciones hidráulicas detalladas y determinación de la capacidad vial del puente.

Debido a la diferencia en cada caso, se deben definir protocolos particulares para la utilización y aplicación de cada tipo de ensayo, variando la duración y recursos involucrados en la inspección correspondiente. Los elementos requeridos para la inspección detallada se explican en el Anexo A.

Como resultado de la aplicación de una inspección detallada se debe generar un informe que contenga una descripción detallada de los defectos detectados, una evaluación de la condición de la estructura, recomendaciones de ensayos especiales adicionales y necesidades de reparación urgente. Se debe realizar una primera estimación de costos de la solución de los problemas detectados.

- **Inspección de construcción**

La inspección de construcción debe ejecutarse a todo puente nuevo y cada vez que un puente se rehabilite y se mejore (Woodward, 2000). Su objetivo es asegurar que la construcción o mejora se realizó de acuerdo a las especificaciones del contrato.

Cuando se trata de un puente nuevo se debe realizar una inspección visual completa, llevada a cabo por personal especialista en puentes y puede incluir la realización de ensayos destructivos en terreno o laboratorio.

Al realizarse después de un trabajo de reparación se debe focalizar la inspección en la zona o defecto reparado. Se debe asegurar que las condiciones finales del puente corresponden a las estipuladas en el proyecto de ingeniería original y registrar cualquier diferencia entre éste y el producto final.

- **Inspección hidráulica**

La principal causa de falla de los puentes es la socavación de sus fundaciones o falla ante eventos hidráulicos (Melville y Coleman, 2000). Es por eso que determinar el estado de la cuenca hidrográfica del río que sortea la estructura es fundamental para definir la posibilidad de posibles aluviones o crecidas que lo deterioren. Este tipo de inspección busca recopilar la mayor cantidad de información de la cuenca y el cauce hidráulico para definir situaciones de riesgo.

La información se recopila mediante inspecciones en terreno en las inmediaciones del puente aguas arriba y abajo, junto al trabajo con planos e información digital disponible sobre la cuenca en estudio.

Se deben evaluar y establecer la existencia de Cuencas Especiales, las de mayor peligro y definir calendarios de inspección para cada una de ellas. La inspección hidráulica se puede ejecutar en varios niveles de detalle según la disponibilidad de recursos y necesidades de la estructura.

#### **4.4.2 Herramientas para la inspección de puentes.**

La inspección de puentes requiere de varias herramientas para asegurar la optimización, seguridad y uniformidad del proceso. Dentro de las herramientas más importantes están la metodología para la codificación de puentes y elementos, el sistema de calificación y catálogo de daños, y los procedimientos de inspección.

- **Codificación de puentes y elementos.**

La codificación de puentes es el primer elemento para asegurar la identificación inequívoca de cada estructura dentro del inventario. Para esto se adoptará la metodología propuesta por DICTUC (DICTUC, 2006). De acuerdo a esto cada puente se identificará con la sigla de la ruta en que se emplaza y el kilometraje en que se encuentra. El inicio del puente se identifica según el metraje menor según el sentido de avance del balizaje de la ruta y su término por el kilometraje mayor.

La codificación de elementos permite identificar cada componente del puente de forma inequívoca sin necesidad de un plano u otro dibujo técnico. Para esto se propone utilizar una combinación de las metodologías propuestas por Echaveguren (DICTUC, 2006) y Haque (Haque, 1997). El sistema se basa en la inspección segmentada de estructuras, buscando la ejecución eficiente del proceso y la consideración de todos los elementos de la estructura (White et al, 1992). Este proceso consiste en separar los elementos que conforman el puente (vigas, cepas, barandas, tablero, etc.) y a partir de esto realizar el proceso de inspección sobre cada elemento particular. Este proceso permite ubicar los deterioros en el elemento en que se presenta, lo que permite estimar la condición de cada elemento y su importancia dentro de la estabilidad general de la estructura. La codificación a utilizar consiste en la identificación numérica para los tipos de elementos de la estructura, mientras que para la enumeración se usará el sistema propuesto por Haque: la secuencia de numeración avanza del comienzo del puente hacia su fin y de izquierda a derecha. Cuando se encuentren elementos de igual código en forma paralela y transversal al eje longitudinal del puente, se numerará primero los que se encuentren en la fila más cercana al inicio del puente, de izquierda a derecha.

El sistema final separa los tipos de elementos clásicos de acuerdo a la estructuración del puente, se establecen los tipos de puentes y elementos definidos en el

Anexo G. La Figura IV-3 muestra un ejemplo de la codificación de puentes y elementos.

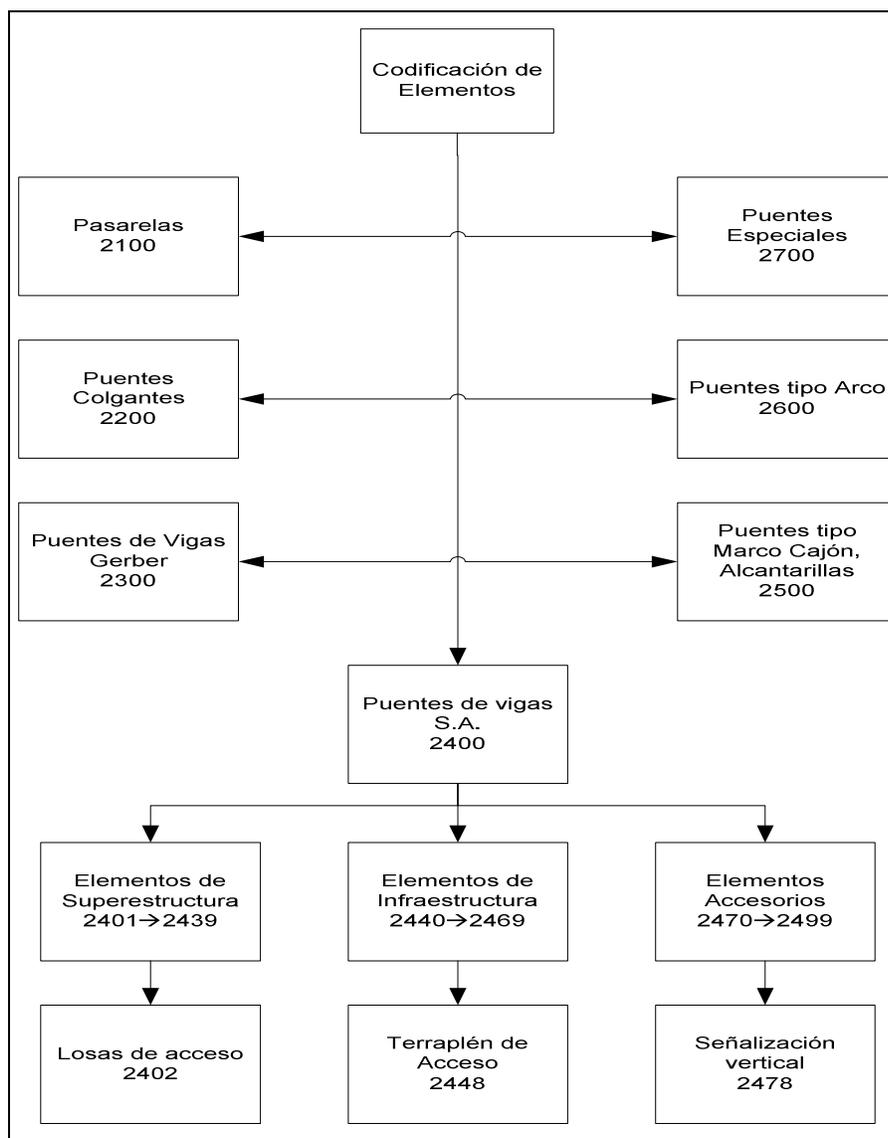


Figura IV-3: Ejemplos de Codificación de Elementos (Fuente: Adaptado DICTUC, 2006)

- **Codificación, calificación y catálogo de daños.**

Evaluar los daños de la estructura permite obtener una calificación del estado de un puente. Para que la inspección sea eficiente es necesario tener definidos los daños a observar, su calificación y códigos. Para esto se utilizará una codificación de daños basada en el trabajo de DICTUC (DICTUC, 2006) y BRIME (Woodward, 1999), pero incorporando patologías adicionales (López, 2008).

La codificación de daños se realiza en base a un código numérico de 4 dígitos que representa un daño presente en la estructura. El listado de daños por material se observa en el Anexo G: Codificación de Daños. Para calificar los elementos del puente se calificará cada elemento en una escala de 1 a 5 donde una menor calificación corresponde a un peor estado.

- **Procedimientos de inspección.**

Para la ejecución de la inspección se necesita un método planificado y estandarizado, con la finalidad de lograr un trabajo seguro, eficiente y completo. Para esto existen descripciones paso a paso de lo que debe realizar el inspector, el equipamiento necesario y la secuencia en que se realiza el trabajo. Los procedimientos de inspección varían de acuerdo al SGPU y al nivel de inspección que se esté realizando, pero en todos los casos se encuentra definido con anterioridad y los inspectores deben estar familiarizados con este. El uso de procedimientos de inspección aumenta las posibilidades de obtener información homologable disminuyendo la influencia humana en este proceso. El proceso de inspección para la inspección general describe el procedimiento de seguridad, captura y registro de datos. Este se encuentra en la sección 5 del Anexo G.

#### **4.4.3 Cálculo del Índice de Condición del Puente (ICP)**

El ICP es un indicador cuantitativo del estado del puente en un momento determinado, es análogo al Grado de Daño, pero con mayor información. El ICP sirve como un primer indicador para priorizar puentes dentro de una red.

El concepto de ICP es el paso lógico desde la evaluación de los componentes de un puente a un indicador representativo de toda la estructura.

Para el cálculo del ICP, cada elemento recibirá una calificación en términos de cinco condiciones de estado actual. Las condiciones de estado posibles son las que se observan en la Tabla IV-16.

Tabla IV-16: Condición de los Elementos de un Puente

Condición del Elemento		Descripción
1	Peligroso	Deterioro avanzado y pérdida de sección efectiva. No se puede asegurar la integridad de la estructura, existe riesgo de colapso del elemento.
2	Malo	El elemento tiene un nivel avanzado de deterioro. Presenta un riesgo real para la estructura y los usuarios. Según el material: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero: grietas de fatiga y pérdida importante de sección.</li> <li>• Hormigón: agrietamiento severo o pérdida de recubrimiento de armadura.</li> <li>• Madera: rajaduras, aplastamiento o degradación importante.</li> <li>• Albañilería: agrietamiento severo, pérdida de alineamiento.</li> </ul>
3	Regular	Los deterioros presentan deterioros que puedan estar afectando la capacidad del elemento y la serviciabilidad que entrega. Comienza a existir riesgo para los usuarios. Según el material: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero: corrosión general, grietas de fatiga sin afectar zonas críticas.</li> <li>• Hormigón: agrietamiento general, pérdida de recubrimiento o delaminación moderada.</li> <li>• Madera: rajaduras generales, aplastamiento moderado. Defectos superficiales.</li> <li>• Albañilería: Grietas generales.</li> </ul>
4	Bueno	El elemento presenta deterioros menores. Defectos superficiales no involucran pérdida de sección y una pérdida mínima de resistencia. No afectan la serviciabilidad. Según el material: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero: corrosión menor sin pérdida de sección.</li> <li>• Hormigón: grietas no estructurales. Otros defectos aislados</li> <li>• Madera: rajaduras aisladas.</li> <li>• Albañilería: agrietamiento menor.</li> </ul>
5	Como nuevo	El elemento presenta poco o ningún deterioro. Grietas superficiales o defectos superficiales que no afecten la resistencia y serviciabilidad del elemento

La condición detallada de cada tipo de elemento para calificar en cada estado se puede definir en base a lo propuesto por la FHWA, donde se establecen límites cuantitativos para la presencia de deterioros por elemento en cada condición (MDOT, 2007).

De acuerdo al estudio realizado se concluye que: para calcular el ICP de un puente se debe considerar tanto los elementos que aportan capacidad estructural como los que afectan sólo la serviciabilidad y seguridad, ponderando la importancia de cada uno para la estructura, enfatizando los que revisten un mayor peligro para el puente. El ICP considera el estado de los diferentes elementos de un tipo, el aporte a la estabilidad global del elemento y propensión a fallas de los diversos materiales que pueden conformar un puente. EL ICP se calcula de la siguiente manera:

- a) Se determina el Índice de Condición del Elemento (ICE) para cada elemento.
- b) Cuando un puente presente diversos elementos del mismo tipo, por ejemplo varias pilas, se deberá seleccionar como índice representativo de ese tipo de elementos al peor calificado de ellos.
- c) El ICP del puente se calcula ponderando los índices de cada elemento según su importancia en la estabilidad y seguridad de la estructura. Para esto se adaptará la metodología propuesta por la agencia de carreteras de Australia (Austroads, 2004). Se utilizan los pesos ponderados de cada elemento que se encuentran en la codificación de elementos del Anexo G.
- d) Cada peso ponderado de elemento se multiplica por un factor determinado por el material que compone el elemento. El factor refleja la vulnerabilidad del material y el tipo de falla que puede presentar un elemento de ese material. Los factores por material se observan en la siguiente tabla:

Tabla IV-17: Factor de peso por material del elemento

Tabla de Factores por material	
Material	Factor
Hormigón pre o postensado	1
Hormigón armado tradicional	2
Acero	3
Madera	4
Otro	1,5

e) Para calcular el ICP de cada puente se utiliza la siguiente expresión:

$$ICP = \frac{\sum_{i=1}^n ICE_i * w_i * m_i}{\sum_{i=1}^n w_i * m_i}$$

**EC IV.3**

Donde:

$ICE$  : Índice de Condición del Elemento.

$w_i$  : Peso ponderado del elemento dentro de la estructura.

$m_i$  : Factor por el material del elemento

El ICP refleja el estado de deterioro de la estructura de acuerdo a la escala de la Tabla IV-18 y puede variar desde peligroso a como nuevo, siendo uno de los principales elementos de decisión para la conservación de puentes.

**Tabla IV-18: Escala de ICP del puente**

<b>Condición del Elemento</b>		<b>Descripción</b>
1	Peligroso	Estructura y obras complementarias en mal estado, tomar medidas de reparación con urgencia. Riesgo para los usuarios
2	Malo	Estructura y obras complementarias deficientes. Se debe aplicar medidas a la brevedad para evitar aumento del riesgo.
3	Regular	Estructura y obras complementarias en regular estado, se deben tomar medidas de mantenimiento.
4	Bueno	Estructura y obras complementarias en buen estado. Requiere mantenimiento menor
5	Como nuevo	Estructura y obras complementarias como nuevo No requiere acción alguna excepto conservación rutinaria.

#### **4.5 Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Hidráulica**

La inspección visual es una manera económica y rápida de obtener información sobre el estado de la vulnerabilidad de un puente. La inspección permite obtener información del entorno, el puente y el canal a través de la observación de patrones de flujo, marcas de crecidas anteriores y de elementos que denoten la socavación.

Los principales elementos que se deben considerar para una inspección hidráulica en terreno son (Woodward, 2000) (DICTUC, 2006):

- Forma del río: tal como se indicó anteriormente se relaciona con la estabilidad de la posición del flujo y posibles cambios de dirección.
- Ángulo de ataque: define el potencial de socavación adicional por problemas de ubicación en el encuentro del río con el puente.
- Riberas: las riberas determinan la posibilidad de arrastre de material y socavación. Se debe observar la estabilidad, presencia de elementos de protección y el tipo de suelo si se puede.

- Planicies de inundación: su presencia se asocia a las posibilidades de aumento del nivel de agua ante crecidas. Se debe observar si existen planicies de inundación bien definidas que aumenten la sección del canal ante estos eventos.
- Presencia de desechos en el lecho: son obstáculos al flujo restringiendo la sección con el respectivo aumento de nivel o velocidad. También evidencian el transporte de material por parte del río.
- Disminución de sección por parte del puente: se debe observar el estado de las aberturas de escurrimiento y el efecto de la pérdida de sección en las condiciones de flujo
- Tipos de pilas y socavación: las pilas deben cumplir los criterios de diseño enunciados previamente. Se debe observar su orientación y forma. Se debe tratar de calificar el nivel de socavación en las pilas de los puentes.
- Socavación del lecho: se debe observar el efecto de socavación local o general en el lecho bajo el puente y en las zonas contiguas.
- Evidencias de impacto y abrasión: tanto en la subestructura como en la superestructura.
- Evidencias de altura de agua alcanzada: se deben observar restos de elementos vegetales o marcas del nivel de agua en el puente para determinar la altura alcanzada por el agua en crecidas anteriores.
- Condiciones aguas arriba y aguas abajo: ver características generales del flujo como cambios e velocidad, turbulencias y cambios de niveles de agua.

Los datos recolectados se almacenan en la Ficha de Inspección Hidráulica. Adicionalmente a esta ficha se debe entregar un croquis de la ubicación en planta del puente y de la forma y entorno del río. Ambos documentos se deben acompañar con un conjunto de fotografías que sigan la metodología de toma de fotografías de la inspección general de puentes.

TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08			
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre:	Río:	Largo puente:			
Código del puente:	Inspector:	Fecha:			
<b>EVALUACIÓN DE ELEMENTOS</b>					
Forma del río: _____					
Estado de las riberas: _____					
Planicies de inundación: _____					
Presencia de desechos: _____					
Altura de aguas: _____					
Condiciones aguas arriba-abajo: _____					
Tipo de pilas: _____					
Ángulo de ataque: _____					
Disminución de sección: _____					
Evidencias de impacto y abrasión: _____					
Socavación del lecho: _____					
Socavación de la estructura: _____					
<b>CALIFICACIÓN DEL ESTADO HIDRÁULICO</b>					
Condiciones del Canal	5	4	3	2	1
Socavación	5	4	3	2	1
Vulnerabilidad Hidráulica	5	4	3	2	1
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>					
_____					
_____					
_____					
_____					

Figura IV-4: Ficha de Inspección Hidráulica

Toda la información recopilada durante la inspección pasa a una fase de análisis en que se determine la potencialidad de riesgo de la estructura. Las conclusiones y recomendaciones de la inspección deben enfocarse en:

- Condiciones generales hidráulicas.
- Deterioros observados en la estructura.
- Estado de riberas y protecciones.
- Estado del cauce.

PONTIS (NY DOT, 2003) define el estado hidráulico según dos elementos las condiciones del flujo bajo el puente y la socavación de los elementos de la estructura que se ha producido. Las condiciones del flujo se califican de acuerdo a las probabilidades de que se produzcan crecidas que generen daño en la estructura, superen el nivel del tablero y que se produzcan retrasos en el tráfico. La socavación se clasifica según la vulnerabilidad de la estructura a sufrir socavación. Para la cuantificación de cada aspecto se propone en uso de las siguientes escalas:

**Tabla IV-19: Calificación de las condiciones del canal.**

<b>Calificación</b>	<b>Descripción de la condición del canal y el flujo</b>
<b>5</b>	Las riberas y el canal no presentan erosión y están protegidos. Las estructuras de protección se encuentran en excelente estado. Pocos desechos. El flujo bajo el puente es normal, sin mayores obstáculos ni aumentos en el nivel de agua.
<b>4</b>	Evidencias menores de erosión o depósito de materiales. Erosión de las riberas y el canal son menores. Escasos desechos en el canal. El nivel de agua no se aproxima al tablero sin problemas para el tráfico ni generando daños.
<b>3</b>	El depósito y erosión de materiales es moderado. Existe erosión leve en las riberas y elementos de protección. Los desechos causan problemas menores y deben ser removidos. El nivel de agua ha alcanzado niveles cercanos al tablero.
<b>2</b>	Ocasionalmente el nivel de agua ha alcanzado el nivel crítico del tablero y causado retrasos o riesgos al tránsito. Se han generado daños por las crecidas.
<b>1</b>	Frecuentemente las crecidas llegan al nivel crítico de la superestructura causando riesgo para el tráfico. El puente presenta marcas de daños importantes debido a las crecidas.

**Tabla IV-20: Calificación de la socavación (Adaptado de MDOT, 2007)**

<b>Calificación</b>	<b>Descripción de la condición del canal</b>
<b>5</b>	No existe socavación o es muy poca. No hay riesgo de falla.
<b>4</b>	Socavación localizada menor. Existe bajo riesgo de falla por este concepto.
<b>3</b>	Se observa socavación moderada. El aumento de la socavación pondría en riesgo a la estructura por lo que se deben tomar medidas y realizar estudios más detallados.
<b>2</b>	Existen evidencias de socavación general o socavación localizada grave Existe riesgo para los usuarios. Se deben tomar medidas para contrarrestar este efecto.
<b>1</b>	El nivel de socavación es crítico. La inspección indica que existe socavación extensiva en una o más fundaciones poniendo en riesgo a los usuarios. Se requieren acciones inmediatas.

Una vez realizada la calificación del estado hidráulico siguiendo ambas escalas se debe definir la vulnerabilidad hidráulica general del puente. La vulnerabilidad hidráulica general será la menor de las dos calificaciones del puente, ya que la falla de la estructura se puede producir por cualquiera de los dos factores.

La vulnerabilidad hidráulica se define de acuerdo a la siguiente escala (DICTUC, 2006):

**Tabla IV-21: Cálculo de la Vulnerabilidad Hidráulica**

<b>Calificación</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>	<b>Definición</b>
<b>5</b>	Nula	No hay probabilidad de falla por efecto del río
<b>4</b>	Baja	Es muy poco probable que el puente y sus obras complementarias fallen por efecto del río.
<b>3</b>	Media	Es probable que el puente y sus obras complementarias fallen por efecto del río.
<b>2</b>	Alta	Es muy probable que el puente y sus obras complementarias fallen por efecto del río.
<b>1</b>	Muy Alta	El puente y sus obras complementarias están en riesgo inminente de fallar por efecto del río.

Este índice será utilizado como uno de los indicadores principales para la priorización de inversiones en mantenimiento de puentes. Ejemplos del cálculo de vulnerabilidad hidráulica se encuentran en el Anexo I datos de la inspección de una red vial real.

#### 4.6 Cálculo del Índice de Riesgo Sísmico

Para evaluar el riesgo sísmico se propone utilizar la metodología desarrollada por DICTUC (DICTUC, 2006).

La amenaza sísmica es un valor intrínseco del lugar geográfico en que se encuentra una estructura y responde al nivel de sollicitación sísmica que puede sufrir el puente debido a la interacción de las distintas fuentes sísmicas que tienen efecto en su ubicación.

Para determinar la amenaza sísmica se analizan las magnitudes posibles de terremotos que excedan un nivel mínimo, bajo el cual el daño no es significativo, que provengan de todas las fuentes sísmicas a cierta distancia del lugar. Se ven las posibles combinaciones utilizando un coeficiente de minoración de acuerdo a la ubicación de las estructuras. Con el análisis probabilístico de la amenaza sísmica se define la curva de aceleración basal máxima para cada estructura de acuerdo a las fuentes definidas y su ubicación (Fischer et al, 2002). El desarrollo requerido para el cálculo de la amenaza sísmica se encuentra en el Anexo H.

La vulnerabilidad estructural de un puente es la propensión a sufrir daño de una estructura debido a su configuración y diseño estructural. Para construir el modelo estructural se requieren los planos as built y la información de la condición actual de la estructura (deterioros obtenidos mediante inspección general) para construir un modelo simplificado y evaluar la capacidad de los elementos soportantes (cepas y vigas principalmente).

El análisis requerido para esto caso consiste en evaluar el comportamiento no lineal de la cepa más solicitada a través de un análisis de push over (Dides y de la Llera, 2005) para determinar las características de su respuesta estructural. Con estas

características y el nivel de amenaza sísmica obtenido previamente se calculan los desplazamientos de la cepa los que permiten determinar el nivel de daño que sufre la estructura. La manera detallada del cálculo de la vulnerabilidad estructural se encuentra en el Anexo H.

#### 4.7 Cálculo del riesgo sísmico

El riesgo sísmico se cuantifica a partir del nivel de daño que podría sufrir la estructura de acuerdo a la amenaza sísmica y su vulnerabilidad estructural. El daño se define como la distancia entre la curva de estado de la estructura y el mecanismo de colapso (Fischer et al, 2002), es decir, que tan cerca del colapso se encuentra el puente debido a la pérdida de sus propiedades resistentes. De acuerdo al nivel de daño calculado se define una escala semántica que refleje los valores numéricos, la que finalmente se asocia a una calificación de riesgo sísmico. La escala se observa en la Tabla IV-22

**Tabla IV-22: Calificación del riesgo sísmico**

<b>Calificación</b>	<b>Nivel de Daño</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>	<b>Definición</b>
<b>5</b>	0-20%	Nulo	No hay probabilidad de falla por cargas sísmicas
<b>4</b>	20-40%	Bajo	Es muy poco probable que el puente falle por efecto de sismos
<b>3</b>	40-60%	Medio	Es probable que el puente falle por cargas sísmicas.
<b>2</b>	60-80%	Alto	Es muy probable que el puente falle por cargas sísmicas.
<b>1</b>	80-100%	Muy Alto	El puente está en riesgo inminente de fallar por efecto de sismos.

Esta escala nos entrega un indicador que aporta información significativa respecto al riesgo futuro de la estructura. El análisis descrito se realiza en base a la información de las posibles amenazas sobre la estructura y su configuración actual. Es

fundamental el conocimiento experto al modelar el efecto de los deterioros en la disminución de las propiedades resistentes de los elementos para efectuar el análisis de Push Over. Cabe destacar que al analizar el riesgo sísmico se analizan los posibles escenarios futuros que enfrenta el puente, se utiliza la información existentes de eventos pasados (amenaza sísmica) y el estado actual (vulnerabilidad estructural) pero se enfoca el análisis a las posibles consecuencias de la ocurrencia de un evento futuro.

Actualmente existen plataformas comerciales que permiten realizar los cálculos definidos mediante una interfaz simplificada utilizable por cualquier usuario con un conocimiento medio de estructuras sin necesidad de ser experto en ingeniería sismorresistente. Los resultados entregados muestran la aceleración basal del puente y el nivel de daño esperado, lo que se puede traspasar a la escala de riesgo sísmico.

## **V APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

La aplicación de la metodología desarrollada constó de dos partes: aplicación de la metodología en terreno y elaboración y aplicación de una rutina computacional que asista la gestión de puentes. La primera parte buscaba validar las herramientas desarrolladas en cuanto a su aplicabilidad en una red real de puentes, determinando cuales eran las dificultades para su uso y los elementos a mejorar. La rutina consiste en un entregable capaz de manejar la información fundamental del sistema de gestión de puentes y entregar resultados de acuerdo a las políticas y herramientas definidas en el sistema desarrollado.

La validación del procedimiento de toma de decisiones se realizó contrastando los resultados obtenidos usando la metodología propuesta con un estudio previo de estado y capacidad de puentes (DICTUC, 2006) y con los resultados esperados mediante el uso de otras metodologías.

### **5.1 Aplicación en una red de puentes reales**

La aplicación en una red vial real constó de dos etapas: la primera etapa desarrollada el día 29 de Abril consistió en la aplicación de las metodologías de inspección rutinaria, hidráulica y general en un puente ubicado en la Región Metropolitana. Se utilizó un puente de vigas de hormigón pretensado. La finalidad de esta inspección era ver la aplicabilidad de las metodologías de inspección definidas, determinar qué daños deberían ser finalmente incluidos en el catálogo de daño y corregir elementos incluidos de difícil aplicabilidad. Imágenes y datos generales de la inspección se encuentran en el Anexo I.

La inspección determinó que la inspección rutinaria e hidráulica eran de fácil aplicación, pero que en ésta última se requiere un nivel de experiencia elevado para

obtener resultados confiables. La inspección periódica segmentada fue de difícil aplicación debido a la necesidad de analizar los elementos uno a uno y la poca accesibilidad a las vigas y cepas del centro de los puentes y de determinar un ICE para cada elemento en base a la inspección. El tiempo requerido para la inspección del puente fue de 6 horas.

Como resultados de esta etapa se limitaron los deterioros presentes en el catálogo de deterioros, se definió la condición de los elementos en base a una estimación general de su estado y no en base a la suma de deterioros uno a uno y se determinaron los elementos básicos para el procedimiento seguro de inspección. Las fichas de inspección general debieron ser modificadas.

La segunda aplicación consistió en una campaña de 5 días desarrollada entre el 27 y 31 de Mayo en las rutas 60-Ch, F-30-E y E-46. Esta campaña consistió en la inspección de 8 puentes de distinta configuración de materiales y estructuración. Su finalidad era validar las herramientas redefinidas en base a la inspección anterior, aplicar la metodología en puentes distintos validándose los índices en variadas configuraciones. Los resultados fueron positivos respecto a las herramientas usadas, pero demostraron las dificultades de la inspección de puentes: difícil acceso, alta variabilidad de la inspección según las condiciones climáticas previas y el caudal de los ríos. Los puentes inspeccionados en esta ocasión aparecen en la Tabla V-1.

**Tabla V-1: Resultados de la aplicación de la metodología<sup>1</sup>.**

N°	Nombre	Ruta	Km	ICP	VH	RS	IE	IP	Conservación
1	Puente 6	F-30-E	1	2,29	3	1	4,2	2,6	Refuerzo, Limitación y E. Adicionales
2	Puente 4	60-Ch	38	3,06	5	3	3,8	6,2	Reparación y E. Adicionales
3	Puente 1	60-Ch	1	s/i	3	3	4,6	6,3	Reparación y E. Adicionales
4	Puente 7	F-30-E	18	3,93	4	2	2,8	6,5	Reparación y E. Adicionales
5	Puente 5	60-Ch	40	3,74	4	4	3,4	7,0	Reparación
6	Puente 3	60-Ch	25	3,97	5	3	4,2	7,3	Reparación y E. Adicionales
7	Puente 2	60-Ch	12	4,56	N/A	5	3,8	7,6	Mantenición Rutinaria y Estudios Adicionales
8	Puente 8	E-46	7	4,66	5	4	2,5	9,3	Mantenición Rutinaria

En el Anexo I se encuentran los detalles de la inspección de cada puente y de los cálculos realizados. El Riesgo Sísmico (RS) fue calculado de acuerdo a la metodología planteada utilizando herramientas facilitadas por una empresa privada de proyectos estructurales.

Los resultados reflejan que la mayoría de los puentes de la red analizada se encuentra en buen estado. El puente 6 es el de peor estado, debido a un elevado deterioro, riesgo sísmico y una alta importancia estratégica. En contraparte, el puente 8 tiene el mejor índice combinado.

## 5.2 Aplicación computacional para el uso de la metodología.

El manejo masivo de datos en el uso del sistema hace necesario contar con una aplicación capaz de almacenarlos de manera ordenada, guiar el proceso de ingreso de datos, realizar los cálculos de los índices del sistema y entregar informes con los

<sup>1</sup> El Índice combinado del Puente (IP) del puente 1 se calculó con el Grado de Daño en vez del ICP. EL IP del puente 2 se calculó suponiendo una Vulnerabilidad Hidráulica 3, por ser un paso superior de un canal de regadío y otro camino.

requerimientos principales: priorización de estructuras, inspecciones pendientes, estado de un puente. Se ha desarrollado una aplicación práctica basada en Microsoft Access y Visual Basic que ayuda en la elaboración de estas tareas.

### **5.2.1 Estructura del sistema**

El sistema se encuentra estructurado de la siguiente manera:

- Una base de datos desarrollada en Access para el almacenamiento y relación de la información. La base de datos está ligada a través del código del puente. Internamente contiene la información de los tipos de puentes existentes, los elementos comprendidos en cada tipo de puente, los posibles materiales utilizados, información general exigida a cada puente y las inspecciones realizadas. Se maneja la información de inspecciones rutinarias, generales e hidráulicas.

El sistema permite seleccionar el tipo de puente, lo que se asocia a tipos de elementos que puede contener. Los elementos se relacionan a un tipo de material y con esto a una importancia relativa en la estabilidad general de la estructura, lo que permitirá calcular posteriormente los índices del puente.

Las inspecciones se van almacenando, pudiendo observar la evolución del estado de un puente o de algún elemento particular del puente.

El modelo de la base de datos se observa en la Figura V-1. Cada rectángulo representa a una tabla de la base de datos y las flechas indican la forma de relación entre las distintas tablas.

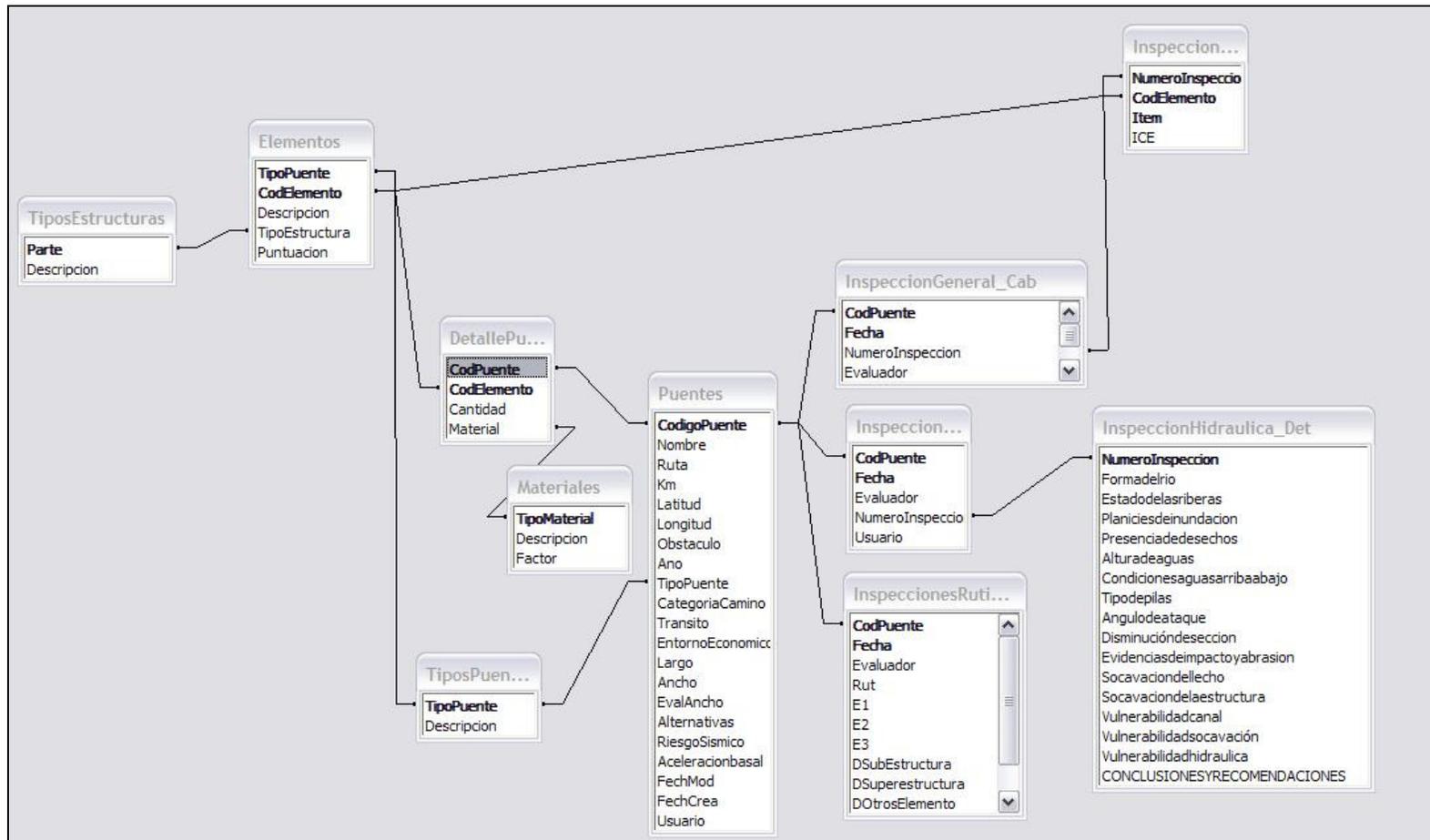
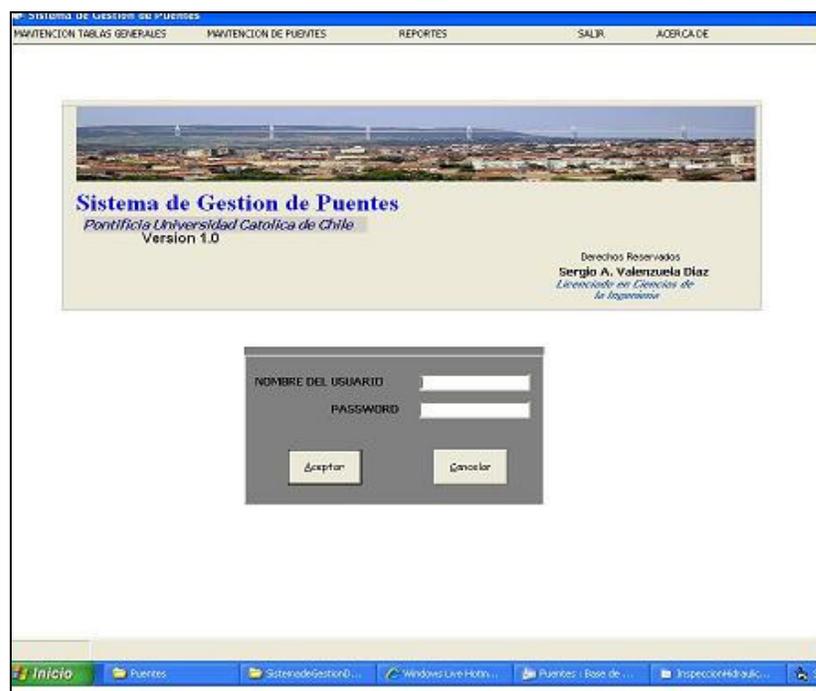


Figura V-1: Modelo de la Base de Datos de la Aplicación

- Un sistema ejecutable, desarrollado a través de Microsoft Visual Basic, que permite el ingreso de los datos a través de una interfaz sencilla, consultar información y solicitar informes. El uso del programa a través de la interfaz se describe en la siguiente sección.
- Informes. Se han desarrollado cinco tipos de informes: priorización según Grado de Daño, priorización según ICP, priorización según IP, puentes con inspecciones atrasadas o inminentes e informe detallado de un puente. Estos informes son solicitados a través de la pantalla del programa y utilizan Crystal Report para obtener información de la base de datos y entregar informes exportables a Excel para su manejo.

### **5.2.2 Descripción del manejo del sistema**

La relación del sistema con el usuario se realiza a través de un programa desarrollado en Visual Basic. El programa se inicia con el ingreso al sistema a través de la identificación del usuario. La Figura V-2 muestra el menú de acceso.



**Figura V-2: Pantalla de inicio de la aplicación computacional**

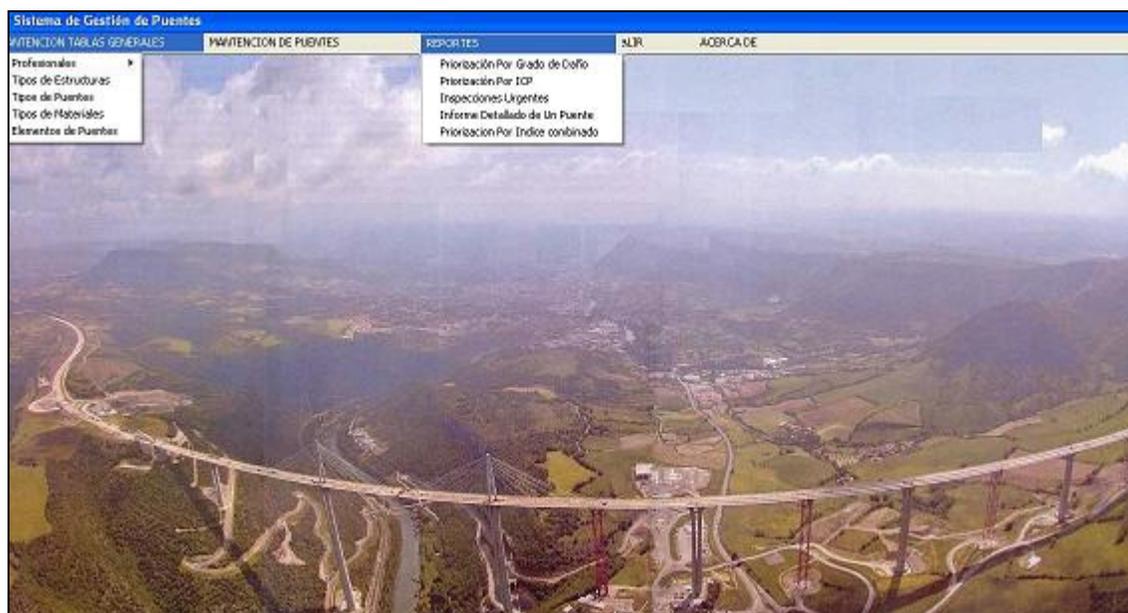
Una vez dentro del sistema existen 5 menús: Mantenimiento de Tablas Generales, Mantenimiento de Puentes, Reportes, Salir y Acerca de. Los tres primeros menús son los que contienen las funcionalidades del sistema.

El menú Mantenimiento de Tablas Generales es el que entrega las funciones de administrador del sistema. Dentro de él se pueden modificar las tablas de tipos de puentes, elementos considerados, usuarios del sistema, materiales y todas las herramientas de trabajo del resto del programa.

El menú de Mantenimiento de Puentes es el que trabaja directamente almacenando y actualizando la información de nuevos puentes o previamente existentes según lo recolectado en las inspecciones.

El menú de Reportes permite pedir al sistema los reportes diseñados previamente.

La Figura V-3 muestra las opciones que despliegan los menús de Mantenimiento de Tablas Generales y de Reportes:



**Figura V-3: Menús generales del sistema**

Al trabajar en el menú de Mantenimiento de Puentes existe la opción de ingresar un nuevo puente o buscar uno ya existente por código, tipo de puente o ruta a la que pertenece.



**Figura V-4: Menú de Mantenición de Puentes**

Dentro del menú, la planilla de ingreso de datos considera toda la información necesaria de la estructura que no varía según las inspecciones de finidas: información administrativa, estructuración, dimensiones, datos de la importancia estratégica del puente y riesgo sísmico asociado al puente. La plantilla de ingreso de datos se observa en la Figura V-5.

En el menú general de mantenciones se pueden modificar los elementos del puente, información general de la estructura y consultar o agregar inspecciones.

Microsoft Excel - Inspección Puentes V región

MANTENCION DE PUENTES

Codigo	Nombre	Obstaculo	Ruta	Km	Latitud	Long.	Fech.Construccion	Alternat	Fecha Creacion	
60CH40	Puente 5	ESTERO ACONCAGU	60CH	40	33°55'7"	71°25'4"	26-05-1905	4	06-12-2008	
2400	Tipo Puente	Restricciones	Transito	E. Econ.	R.Sismo	Ac.Basal	Largo	Ancho	Eval. Ancho	Fecha Utl. Act.
		2	16451	5	3	1	24	8	3	06-12-2008

INSPECCIONES RUTINARIAS			INSPECCIONES GENERALES			INSPECCIONES HIDRAULICAS				
Fecha	Evaluador	Daño	N°	Fecha	Evaluador	ICP	N°	Fecha	Evaluador	V.H.
05-11-2007	Sergio Valenzuela	4	1	30-04-2004	Sergio Valenzuela	3,5	1	24-12-2004	Sergio Valenzuela	4,5
10-05-2006	Sergio Valenzuela	4	2	12-10-2006	Juan Perez	2,1	2	13-06-2006	Juan Perez	3,5
11-07-2008	Sergio Valenzuela G	2	3	25-05-2008	Sergio Valenzuela	3,7	3	22-06-2008	Juan Perez	4,5
12-04-2008	Sergio Valenzuela	3	4	29-06-2008	Sergio Valenzuela	.,490,	4	05-06-2007	Sergio Valenzuela G	4
12-05-2007	Sergio Valenzuela	2								
12-12-2006	Sergio Valenzuela G	5								

codigo	Nombre	Ruta	Km	Latitud	Longitud	Obstaculo	Ano	TipoPuente	Restriccio	Transito	EntornoE	Largo	Ancho	EvalAnch	Alternativ	RiesgoSis	Aceleraci	FechMod	FechCrea
60CH40	LAJAPILLA	60CH	40	33°55'75"	71°25'42"	ESTERO	26-05-1905	Vigas	2	16451	5	24	8	3	4	3	1	06-12-2008	06-12-2008

Ver Elementos  
Grabar  
Volver

Agregar una nueva Inspección Rutinaria    Modificar Inspeccion  
Agregar una nueva Inspección General    Modificar Inspeccion  
Agregar una nueva Inspección    Modificar Inspeccion

Figura V-5: Plantilla de información general del puente

Al seleccionar un tipo de puente, se deben seleccionar los elementos que lo componen. Para esto, en la Figura V-6 se muestra que aparecen todos los elementos asociados a un tipo de puente y se deben ir agregando los que compongan la estructura específica que se está ingresando. Al agregar un tipo de elemento se abre la pantalla de la Figura V-7 en la que se define su cantidad y el material de construcción usado.

Elementos de un Tipo de Puente

MANTENEDOR DE ELEMENTOS DE Tipos de Puentes

Colgante

Elem	Descripcion	Estructura	Pje
2201	Losa	Superestructura	2
2202	Losa de acceso	Superestructura	1
2203	Carpeta de rodado	Superestructura	2
2204	Viga principal	Superestructura	4
2205	Viga atiesadora	Superestructura	3
2206	Viga tmasversal	Superestructura	3
2207	Armostramiento vertical	Superestructura	3
2208	Armostramiento transversal	Superestructura	3
2209	Conector de corte	Superestructura	3
2210	Tablón de resistencia	Superestructura	4
2211	Tablón de rodado	Superestructura	3
2212	Viga consola	Superestructura	3
2213	Viga atiesadora transversal	Superestructura	2
2214	Torre	Superestructura	4
2215	Apoyo de torre	Superestructura	3
2216	Abrazadera de pilares de torre	Superestructura	2
2217	Armostramientos de torre	Superestructura	3
2218	Placa de repartición	Superestructura	2
2219	Placa de apoyo	Superestructura	2
2220	Silla de apoyo	Superestructura	2
2221	Cable principal	Superestructura	4
2222	Cable de contraventación	Superestructura	3
2223	Tensor de cable principal	Superestructura	4
2224	Tensor de cable de contraventa	Superestructura	2
2225	Clip	Superestructura	1
2226	Péndola	Superestructura	2
2227	Abrazadera	Superestructura	2
2228	Barra antisísmica	Superestructura	3
2240	Muro de respaldo de estribo	Subestructura	3
2241	Muro frontal de estribo	Subestructura	3

Agregar Eliminar Seleccionar Otra Tipo de Puente

Figura V-6: Pantalla de selección de elementos

Registro de Elementos

INGRESO DE UN NUEVO ELEMENTO

Tipo de Puente

2200 Colgante

Codigo Elemento

Descripcion

Tipo de Estructura 1 Superestructura

Puntuacion

Grabar Volver

Figura V-7: Detalle de elementos

Una vez ingresados todos los elementos de un puente y sus datos generales, es posible registrar los datos provenientes de las inspecciones. Para esto se debe seleccionar el tipo de inspección que se quiere registrar. Para cada tipo de inspección se tienen los siguientes formularios:

REGISTRO INSPECCIONES RUTINARIAS

REGISTRO DE INSPECCIONES RUTINARIAS

PUENTE 60CH40 LAJARILLA

NOMBRE INSPECTOR

FECHA DE INSPECCION

**ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN**

EVALUACION DEL ENTORNO DEL PUENTE

EVALUACION DE LOS DETERIOS DE LAS PARTES DEL PUNTES

**ENTORNO DEL PUENTE**

FLUJO DE AGUA BAJO LA ESTRUCTURA

SOCAVACION

CANAL, TALUDES, OBRAS COMPLEMENTARIAS

**GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS**

SUBESTRUCTURAS

SUPERESTRUCTURAS

ELEMENTOS COMPLEMENTARIO

**GRADO DE DAÑO DEL PUENTE**

GRADO DE DAÑO DEL PUENTE

IDENTIFICACION DE PROBLEMAS

Figura V-8: Formulario de ingreso de datos de inspección rutinaria

REGISTRO DE INSPECCION GENERAL

REGISTRO DE INSPECCION GENERAL

PUENTE 60CH40 Puente 5

NOMBRE INSPECTOR \_\_\_\_\_ FECHA DE INSPECCION \_\_\_\_\_

Elem	Descripcion	Estructura	Material	Car
2401	Losa	Superestructura	HORMIGON ARMADO	2
2403	Carpeta de rodado	Superestructura	OTROS	2
2404	Viga principal	Superestructura	HORMIGON ARMADO	14
2405	Travesaño	Superestructura	HORMIGON ARMADO	2
2407	Barra antisísmica	Superestructura	HORMIGON ARMADO	5
2409	Placa de apoyo	Superestructura	OTROS	4
2441	Muro ala de estribo	Subestructura	HORMIGON ARMADO	2
2445	Tapa de pilar	Subestructura	HORMIGON ARMADO	6
2448	Muro de cepa	Subestructura	HORMIGON ARMADO	1
2470	Baranda liviana	Accesos, defensas, cor	ACERO	4
2474	Barbacana	Accesos, defensas, cor	OTROS	8
2490	Sello de juntas de pavimento	Accesos, defensas, cor	OTROS	3

Nota cada Elemento de 1 a 5

1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0

VOLVER GRABAR

Figura V-9: Formulario de ingreso de datos de inspección general

NOMBRE INSPECTOR	<input type="text"/>	FECHA DE INSPECCION	<input type="text"/>
FORME DEL RIO	<input type="text"/>		
ESTADO DE LAS RIBERAS	<input type="text"/>		
PLANICIES DE INUNDACION	<input type="text"/>		
PRESENCIA DE DESECHOS	<input type="text"/>		
ALTURA DE AGUAS	<input type="text"/>		
CONDICIONES AGUA ARRIBA-ABAJO	<input type="text"/>		
TIPO DE PILAS	<input type="text"/>		
ANGULO DE ATAQUE	<input type="text"/>		
DISMINUCION DE SECCION	<input type="text"/>		
EVIDENCIAS DE IMPACTO Y ABRASION	<input type="text"/>		
SOCAVACION DEL LECHO	<input type="text"/>		
SOCAVACION DE LA ESTRUCTURA	<input type="text"/>		
VULNERABILIDAD DEL CANAL	<input type="text"/>	VULNERABILIDAD DE SOCAVACION	<input type="text"/>
		VULNERABILIDAD HIDRAULICA	<input type="text"/>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	<input type="text"/>		

**Figura V-10: Formulario de ingreso de datos de inspección hidráulica**

Al registrar la información de las inspecciones, éstas se almacenan correlativamente a la fecha de inspección. Es posible consultar esta información en el menú general del puente, seleccionando la inspección y haciendo doble clic en ella.

### 5.2.3 Entrega de resultados

Los resultados del sistema son generados a través de informes prediseñados que toman la información de la base de datos y la integran con el sistema decisional desarrollado en la metodología. Los informes generados se observan a continuación:

Priorización de Puentes por Grado de Daño		
<b>Fecha:</b>	28 de Junio de 2008	
<b>Rutas incluidas:</b>	F30E	
Código	Nombre	Grado de Daño
F30E19	Puente 4	1,2
F30E1	Puente 1	1,8
F30E2	Puente 2	2,1
F30E39	Puente 6	2,8
F30E25	Puente 7	3,2
F30E42	Puente 5	3,7
F30E48	Puente 3	4,4

Figura V-11: Informe de Priorización por Grado de Daño (GD)

Priorización de Puentes por ICP		
<b>Fecha:</b>	28 de Junio de 2008	
<b>Rutas incluidas:</b>	Todas	
Código	Nombre	ICP
F30E19	Puente 6	1,2
F30E1	Puente 3	1,8
60CH5	Puente 4	2,1
5	Puente 5	2,8
68	Puente 10	3,1
F30E2	Puente 1	3,7
F30E39	Puente 8	3,8
5	Puente 9	4,0
5	Puente 2	4,2
49G	Puente 7	4,8

Figura V-12: Informe de Priorización por Índice de Condición del Puente (ICP)

Priorización de Puentes por IP			
Fecha:	28 de Junio de 2008		
Rutas incluidas:	Todas		
Código	Nombre	IP	Acciones Recomendadas
F30E19	Puente 6	1,2	Reconstrucción
F30E1	Puente 3	2,8	Refuerzo Limitación de Paso
60CH5	Puente 4	3,1	Refuerzo Estudios Adicionales
5	Puente 5	4,8	Reparar
68	Puente 10	5,1	Reparar Estudios Adicionales
F30E2	Puente 1	5,7	Estudios Adicionales
F30E39	Puente 8	6,8	Reparar
5	Puente 9	7,0	Conservación Preventiva
5	Puente 2	8,2	Mantenimiento Rutinario Estudios Adicionales
49G	Puente 7	9,8	Mantenimiento Rutinario

Figura V-13: Informe de Priorización por Índice combinado del Puente (IP)

Inspecciones Futuras a Realizar				
Fecha:	27 de Junio de 2008			
Rutas incluidas:	F30E			
Inspecciones Rutinarias		Periodicidad	6 meses	
Codigo Puente	Nombre	Fecha última inspección	Fecha próxima inspección	Estatus
F30E19	Puente 3	23-11-2007	23-05-2008	Atrasado
F30E1	Puente 2	25-11-2007	25-05-2008	Atrasado
F30E2	Puente 4	25-12-2008	25-06-2008	
F30E39	Puente 5		01-07-2008	
F30E25	Puente 6	30-03-2008	30-09-2008	
F30E42	Puente 7	21-05-2008	21-11-2008	
F30E48	Puente 1	05-06-2008	05-12-2008	
Inspecciones Generales		Periodicidad	2 años	
Codigo Puente	Nombre	Fecha última inspección	Fecha próxima inspección	Estatus
F30E19	Puente 3	20-04-2006	20-04-2008	Atrasado
F30E1	Puente 2	25-05-2006	25-05-2008	Atrasado
F30E2	Puente 4		01-07-2008	
F30E39	Puente 5	20-11-2006	20-11-2008	
F30E25	Puente 6	30-03-2007	30-03-2009	
F30E42	Puente 7	15-04-2008	15-04-2010	
F30E48	Puente 1	20-05-2008	20-05-2010	
Inspecciones Hidráulicas		Periodicidad	2 años	
Codigo Puente	Nombre	Fecha última inspección	Fecha próxima inspección	Estatus
F30E19	Puente 3	20-04-2006	20-04-2008	Atrasado
F30E1	Puente 2	25-05-2006	25-05-2008	Atrasado
F30E2	Puente 4		01-07-2008	
F30E39	Puente 5	20-11-2006	20-11-2008	
F30E25	Puente 6	30-03-2007	30-03-2009	
F30E42	Puente 7	15-04-2008	15-04-2010	
F30E48	Puente 1	20-05-2008	20-05-2010	

Figura V-14: Informe de Inspecciones cercanas y atrasadas

Informe Detallado Puente 5					
Fecha: 20 de Junio de 2008					
Datos Generales					
<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Ruta</b>	<b>Km</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
60CH40	Puente 5	60CH	-	33°55'75,60"	71°25'42,55"
<b>Obstáculo</b>	<b>Año Const.</b>	<b>Tipo de Puente</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>TMDA</b>
Estero Aconcagua	1965	Vigas	24	7	16450
Importancia Estratégica					
<b>Alternativas</b>	<b>Tránsito</b>	<b>E Socioeconómico</b>	<b>Ancho</b>	<b>Largo</b>	<b>Restricciones</b>
2	5	2	3	1	5
<b>Importancia Estratégica</b>		2,9			
Factores de riesgo					
<b>Aceleración Basal</b>		<b>Riesgo Sísmico</b>		<b>Vulnerabilidad Hidráulica</b>	
0,55		3		3,5	
Condición del Puente					
<b>ICP</b>			3,2		
ICP subestructura		ICP superestructura		ICP Complementos	
2,5		4,2		3,8	
Índice combinado del Puente IP					
<b>IP</b>		<b>Acciones Recomendadas</b>			
5,6		Reparar			

Figura V-15: Informe Detallado del Puente

### 5.3 Validación de la metodología

La aplicación de la metodología a una red real de puentes y la elaboración de un sistema de gestión computarizado confirman la aplicabilidad de las herramientas desarrolladas. La validación de los resultados entregados se realizará usando datos y

conclusiones de estudios realizados previamente y comparando el resultado del sistema con el de otros SGP existentes.

### **5.3.1 Validación del sistema frente a estudios previos**

Para validar los resultados de la metodología planteada se utilizarán las conclusiones del Estudio de Capacidad Estructural de Puentes realizado en 2006 por Dictuc (Dictuc, 2006). En este estudio grupos de expertos evaluaron los deterioros del puente, el estado estructural e hidráulico y otorgaron a cada estructura un valor representativo. Pese a que las metodologías de inspección y asignación de la condición de deterioro e hidráulica son distintas a las planteadas en esta investigación, se utilizarán estos datos para comparar los resultados obtenidos mediante el análisis de los expertos en esa ocasión y los arrojados por la metodología desarrollada.

Para cada puente fue necesario calcular la Importancia Estratégica. Posteriormente, se calculó el Índice combinado del Puente. Los resultados del estudio previo se encontraban en una escala de 1 a 5, debiendo ser transformados a escala de 1 a 10 para poder comparar ambos datos. Los resultados se observan en la Tabla V-2.

Se consideró que los resultados eran no coincidentes cuando existe una diferencia mayor a 2 puntos, una categoría, entre el IP y el índice otorgado previamente. De acuerdo a este criterio existen 4 escenarios con diferencias significativas entre ambas metodologías, correspondientes al 16,6% de los casos.

Los escenarios en que se presentan estas diferencias corresponden a casos en el que una de las variables presenta un valor muy malo (1 o 2), mientras las demás tienen una evaluación positiva. El estudio previo asignó en estos casos una calificación general considerablemente menor al que otorga el sistema desarrollado, ocupando un factor de seguridad alto frente a posibles consecuencias. El enfoque presentado en este sistema

pondera las distintas calificaciones. En escenarios similares el IP refleja la combinación de los diferentes estados de cada variable independiente entregando mejores resultados.

En conclusión, el porcentaje de coincidencia de resultados (83,3%) se considera satisfactorio, por lo que se confirma que se ha podido reflejar de manera correcta el conocimiento experto adquirido mediante las encuestas para combinar las variables que conforman el IP.

**Tabla V-2: Comparación de resultados**

Puente	ICP	RS	VH	IE	IP	Índice 2006	Acciones recomendadas Sistema de Gestión	Diferencia Significativa
1	1	1	1	3,2	1,0	1	Reconstrucción y Limitación de Carga	No
2	1	2	2	3,8	1,0	1	Reconstrucción y Limitación de Carga	No
3	2	1	2	1,9	2,4	2	Refuerzo y Limitación de Carga	No
4	4	1	4	3,9	5,7	2	Reparación y Estudios Adicionales	Si
5	2	3	2	3,7	2,6	4	Refuerzo, Limitación de Carga y Estudios Adicionales	No
6	2	3	3	3,5	3,5	4	Refuerzo, Limitación de Carga y Estudios Adicionales	No
7	2	3	4	2,5	4,6	4	Reparación	No
8	2	4	2	2,1	3,7	4	Reconstrucción y Limitación de Carga	No
9	2	4	2	2,8	3,4	4	Refuerzo, Limitación de Carga y Estudios Adicionales	No
10	2	4	3	2,2	4,4	4	Reparación	No
11	4	2	4	2,2	6,9	4	Reparación y Estudios Adicionales	Si
12	4	2	4	3,8	6,2	4	Reparación y Estudios Adicionales	Si
13	4	2	5	3,7	7,0	4	Reparación y Estudios Adicionales	Si
14	3	3	5	3,3	6,3	6	Reparación	No
15	3	3	4	3,4	5,6	6	Reparación	No
16	3	4	3	4,8	4,7	6	Reparación	No
17	3	4	3	3,0	5,4	6	Reparación	No
18	3	4	4	3,1	6,1	6	Reparación	No
19	4	3	2	2,6	5,6	6	Reparación y Estudios Adicionales	No
20	3	5	3	1,8	6,3	6	Mantenimiento Rutinaria	No
21	3	5	3	4,3	5,4	6	Reparación	No
22	3	5	2	4,8	4,4	6	Reparación y Estudios Adicionales	No
23	3	5	4	4,6	6,0	6	Reparación	No
24	4	5	4	2,6	8,1	8	Conservación Preventiva	No

### 5.3.2 Comparación de los resultados frente a otras metodologías existentes

Los principales SGP a considerar para esta comparación son PONTIS, BRIME y Austroads. La comparación a realizar será del tipo cualitativa, explicando las diferencias entre los resultados esperados al utilizar uno de esos SGP frente a los resultados de la metodología desarrollada.

- El sistema PONTIS realiza la priorización de acuerdo a la condición del puente y a la posible evolución de esta condición de acuerdo a sus modelos probabilísticos de deterioro. Los resultados entregados por PONTIS podrían asimilarse a una combinación del ICP más un factor de riesgo, pero que en este caso reúne a las solicitaciones (principalmente hidráulicas) y el efecto medioambiental en las tasas de deterioro del puente. PONTIS no realiza una ponderación de ambos factores si no que frente al estado de condición actual desarrolla un árbol de posibles escenarios futuros con sus probabilidades de ocurrencia y calcula el valor representativo del árbol. Ese valor es usado como índice de priorización. No se puede realizar una relación directa entre ese índice y el desarrollado en este sistema, debido a que la gestión en PONTIS se hace evaluando el desarrollo en un horizonte de tiempo y no basado en condiciones actuales. Pese a esto, la base de considerar el estado de la estructura y los riesgos a futuro en ella son similares en ambos sistemas. Las decisiones en PONTIS se basan en un criterio técnico económico mientras que en este sistema se hacen en base a criterios técnicos dejando la parte económica para las decisiones a nivel de proyecto.
- El sistema BRIME realiza la priorización a nivel de red en base a la condición del puente, el factor de seguridad de la estructura, su vida remanente y el factor de impacto del puente en la red. El sistema consiste en una suma lineal del cuadrado de estas variables que se miden en escalas de 0

a 1, teniendo todas igual peso en el índice final. Si se compara este sistema con el desarrollado la condición actual del puente posee menor influencia en BRIME por lo que los resultados no serían tan dependientes de esta variable como en esta metodología. La priorización también se realiza considerando la posible evolución de los deterioros los que se reflejan en un ponderador para la condición del puente en base a las patologías actuales y las proyecciones según modelos mecanicistas desarrollados.

- El sistema Austroads realiza la priorización según un Índice de Condición del Puente proyectado en el tiempo según zonificación del país. Esto permite proyectar de manera sencilla y utilizando la experiencia de proyectos pasados. Los resultados son altamente dependientes de la condición actual y el período de análisis varía según agencia regional. Los resultados esperados en Austroads serían similares a los del sistema desarrollado ya que el factor de mayor importancia es la condición de deterioro de la estructura en ambos casos.

Se puede observar que los resultados presentados difieren a los de los principales SGP vigentes; sin embargo, las variables consideradas son similares. La mayor diferencia es la consideración de futuros escenarios, siendo ésta la principal tarea pendiente para el desarrollo del sistema.

## VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Se ha logrado desarrollar una metodología de priorización de puentes en base a un Índice combinado que reúne las principales solicitaciones sobre el puente y su importancia en la red vial. Dentro de este índice combinado (IP) el factor más determinante es el estado del puente.

Los factores de riesgo que afectan a un puente (sísmico e hidráulico) pueden ser cuantificados en base a la información de inspecciones visuales. Es importante proyectar las posibles solicitaciones y problemas del puente para poder realizar la intervención en etapas tempranas y para asignar de manera eficiente los fondos para conservación según los posibles escenarios a futuro.

Las acciones de mantención y rehabilitación dependen directamente de la condición del puente. Sin embargo, una alta importancia y riesgos determinan la necesidad de tomar medidas más drásticas (reconstrucción o refuerzo), inmediatas (limitación de cargas) y profundas (estudios adicionales) ante escenarios similares de deterioros que en otros puentes de bajo riesgo o importancia.

La aplicación de la metodología en puentes cuyo obstáculo no corresponde a un río sino a canales de regadío, esteros o lagunas es posible. Sin embargo, el estado hidráulico y deterioros observados en la estructura demuestran que la ponderación para obtener el Índice combinado del Puente debe ser distinta. La vulnerabilidad hidráulica es mínima y los deterioros se deben a las otras cargas que afectan a la estructura.

En el caso de estructuras similares pero sin un obstáculo hidráulico el problema es similar. Los pasos a nivel y pasarelas funcionan como un puente y están sometidos a cargas de diversos tipos. Los conceptos de riesgo sísmico, importancia estratégica y

estado de deterioro son aplicables a este tipo de estructuras. La metodología de priorización e inspección segmentada puede ser usada en pasos a nivel, muros de contención o cualquier estructura que forma parte de la infraestructura vial.

La inspección de puentes no hidráulicos se simplifica al facilitarse el acceso a la parte inferior de las estructuras. En el caso de los puentes hidráulicos se encuentra regida por las crecidas y ciclos de los ríos, lo que no ocurre en estos casos presentándose microclimas más benignos.

La inspección segmentada de puentes es un proceso útil, que guía al inspector y asegura el análisis íntegro del puente; sin embargo, es lenta y de difícil de ejecución en puentes largos donde el acceso inferior solo se logra en los bordes. Para estos casos el uso de instrumentos de visualización como lentes no es suficiente para asegurar resultados confiables.

La aplicación práctica desarrollada permite un manejo eficiente de la información. Para implementar el sistema en una agencia vial es recomendable adaptar la aplicación a una plataforma web que permita acceder de distintas agencias a los datos del sistema. Este desarrollo permitiría compartir información entre direcciones regionales separadas geográficamente y al usarse en conjunto con equipos portátiles permite actualizar en tiempo real el estado de las estructuras.

## **6.2 Recomendaciones**

La principal dificultad para la implementación de la metodología es establecer una estructura organizacional adecuada y competente para realizar las labores de gestión necesarias. Se requiere de una agencia transversal que pueda encargarse del manejo de la red de puentes conjugando conocimientos técnicos, de todas las áreas involucradas, y

administrativos. La capacitación de las personas es un punto fundamental en el éxito de la metodología ya que la inspección visual en que se sustenta el sistema depende de la capacidad del inspector para detectar los deterioros, ponderarlos y poder calificar el estado del puente y su sistema.

Se recomienda el uso de herramientas de tecnologías de la información como Table PC que permitan ingresar la información directamente al sistema, evitando su posterior traspaso y facilitando la consulta de catálogos de daño y elementos estructurales de los puentes inspeccionados.

Los daños visualizados en los puentes son según la configuración de la estructura: uniones en vigas gerber, socavación en dados de fundación, falla en conexiones de vigas con estribos, etc. Se recomienda diseñar un plan de acción para los deterioros más comunes y aplicar medidas de conservación similares en los distintos puentes.

En las inspecciones realizadas se evidenció el mal estado de los puentes de la red ferroviaria, la estructuración de estos puentes corresponde usualmente a una subestructura de hormigón armado y superestructura de acero. Esta superestructura requiere una mayor mantención debido a la corrosión que afecta al acero en las condiciones de los ríos. Existe disminución de secciones de los elementos principales, falla de conectores, falta de recubrimiento en vigas y cepas. Esta red representa un peligro importante para el transporte de pasajeros y cargas, sobre la cual se deberían tomar medidas inmediatas de conservación. El colapso de los puentes de la red vial puede afectar directamente la estabilidad de los puentes de la red caminera ya que modifican las condiciones fluviales, aportan sólidos al río y pueden producir fallas por impacto en puentes en buenas condiciones actuales.

### **6.3 Futuros desarrollos y líneas de investigación.**

Para una futura continuación de la línea de investigación, los desarrollos que se proponen:

- Es necesario poder predecir la evolución de las patologías y su efecto en la estabilidad general del puente a futuro. Actualmente, el sistema funciona en base a la observación de la condición actual del puente, pero permite recopilar y almacenar la información y evolución del estado del puente. Esta información permitirá generar curvas de deterioro y modelos de éstos, se recomiendan modelos empíricos. Se recomienda trabajar en esta línea de investigación, enfocándola en una zonificación del país para la posible evolución de las patologías principales.
- Al corto plazo es necesario establecer umbrales mínimos para cada uno de los índices desarrollados. Estos umbrales deberán enfocarse en entregar niveles mínimos de seguridad a los usuarios.
- Es necesario considerar un índice de seguridad vial de la estructura para cuantificar su impacto en los accidentes de tránsito. La necesidad de conjugar el diseño vial, hidráulico y estructural ha producido que los puentes no sigan de manera adecuada las condiciones del camino siendo focos de peligro para los usuarios.

## REFERENCIAS

AASHTO (1993). *Guidelines For Bridge Management Systems*. American Association of State Highways and Transportation Officials. Estados Unidos.

AASHTO (1998). *Bridges Hydraulic Design*. American Association of State Highways and Transportation Officials. Estados Unidos.

Austrroads (2002). *Bridge Management Systems. The State of the Art*. Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities. Australia.

Austrroads (2004). *Guidelines for Bridge Managemet: Structure Information*. Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities. Australia.

Barrera, E. Miranda, J. De Solminihac, H. Hidalgo, P. (2003). *Recomendaciones para la Utilización del HDM-4 en Chile*. MOP, Santiago, Chile.

Carracedo, M. (1994). *De Pontibvs*. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile

De Solminihac, H. (2001). *Gestión de Infraestructura Vial*. 2ª Edición Ampliada. Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

DICTUC (2006). *Evaluación Estructural del Riesgo en Puentes de Importancia Nacional y Regional*. Informe Final. Santiago. Chile

Dides, M. de la Llera, JC. (2005). *A Comparative Study of Concentrated Plasticity Models in Dynamic Análisis of Building Structures*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol. 34, pp. 1005-1026.

Echaveguren, T. Cifuentes, O. y Echaveguren, E. (2000). *Gestión del Mantenimiento de Puentes. Una Revisión Conceptual*. VI Congreso PROVIAL 2000. pp 243 - 258. La Serena, Chile.

Elzarka, H. Bell, L. Floyd, R. (1999). *Automated Data Acquisition for Bridge Inspection*. Journal of Bridge Engineering, Vol 4, N°4, Noviembre 1999. Estados Unidos.

Fischer, T., Alvarez, M. de la Llera, JC. Riddell, R. (2002). *An Integrated Model for Earthquake Risk Assesment of Buildings*. Engineering Structures Vol. 24, pp. 979-998.

Flores, J (2004). *Conservación de Puentes Carreteros*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Autónoma de México.

Hagerstrand, T. (1989). *Human interaction and spatial mobility: retrospect and prospect*. Transportation in a Changing World. Gower, Londres, pp. 11-28

Haque, M. (1997). *Uniform Bridge Element Identification System for Database Management for Roadway Bridges*. Journal of Bridge Engineering, Vol 2, N°4, Noviembre 1997. Estados Unidos.

Hawk, H (1999). *BRIDGIT: User Friendly Approach to Bridge Management*. TRB Transportation Research Circular 498 pp. 1-15. 8° Conferencia Internacional de Gestión de Puentes 16-28 Abril. Denver. Colorado. Estados Unidos.

Howe, J.D. (1971). *The Value of Time Savings from Road Improvements: A Study in Kenya*. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne, Reino Unido.

Japan International Cooperation Agency JICA (1996). *Guía de Inspección para Mantenimiento de Puentes*. Proyecto de Rehabilitación y Conservación de Puentes en la República de Chile. Santiago, Chile.

Lauridssen, J. Lassen, B. (1999). *The Danish Bridge Management System DANBRO*. En Das, Management of Highways Structures, pp 61-70. Copenaguen, Dinamarca.

Llanos, J.A. (1992). *Le maintenance des ponts, Approche économique*. Presses de l'ENPC, Paris, Francia

López, M (2008). *Apuntes del curso Deterioro y Rehabilitación de Materiales y Estructuras. Primer Semestre 2008*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Maldonado, E. Casas, J. y Cañas, J. (2002). *Aplicación de los Conjuntos Difusos en la Evaluación de los Parámetros de la Vulnerabilidad Sísmica de Puentes*. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería Vol. 18 N°2, pp. 209-226. Barcelona, España.

Melville, B y Coleman, S. (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publications. Colorado, Estados Unidos.

Minnesota Department of Transportation (2007). *Bridge Inspection Manual*. Minnesota, Estados Unidos.

MOP (2000). *Manual de Carreteras Volumen 7. Mantenimiento Vial*. Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

MOP (2006). *Estudio de Infraestructura para la Competitividad. El MOP en la Promoción del Crecimiento Económico*. Dirección de Planificación Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

Moreira, J. (1987). *Gestión de la Conservación de las Características Superficiales de los Pavimentos*. Jornadas Sobre Características Superficiales de los Pavimentos. Barcelona. España.

Newbold, P. (2004). *Estadística para los Negocios y la Economía*. Cuarta Edición. Ed. Prentice Hall. Madrid. España.

NY DOT (2003). *Hydraulic Vulnerability Manual*. Structures and Construction Division. Bridge Safety Assurance Unit. New York Department of Transportation. Nueva York. Estados Unidos.

Odoki, J.B. (1992). *Accesibility Benefits Analysis as a Tool for Transportation Planning in Developing Countries*. Ph.D. Thesis. Universidad de Trieste, Politécnico de Milán. Italia.

Odoki, J. Kerali, H. Santorini, F. (2001). *An integrated model for quantifying accesibility-benefits in developing countries*. Transportation Research Part A 2001, pp 601-623.

RIMES Road Infrastructure Maintenance Evaluation Study. (1999). *Work Package 2 Review of road infrastructure systems and models in EU member states*. Reino Unido.

Small, E. Philbin, T. Fraher, M. y Romack, G (1999). *Current Status of Bridge Management System Implementation in the United States*. 8<sup>th</sup> Internacional Bridge Management Conference, Denver, Colorado. pp A. 1-16 TR Circular 498.

Testa, R. y Yanev, B. (2002). *Bridge Maintenance Level Assesment*. Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol 17, pp 358-267. Estados Unidos.

Thompson, P.D (1993). *PONTIS: the maturing of bridge management systems in the USA*. Bridge Management 2: inspection, maintenance, assessment and repair. pp 971-978. Londres, Inglaterra.

Tonias, D.E. (1995). *Bridge Engineering*. Ed. Mc-Graw Hill. Estados Unidos.

TRB (2000). *Highway Capacity Manual*. TRB. Estados Unidos.

Vega, F. Echavegure, T. y Echaveguren, E. (1999). *Mantenimiento de Puentes en la XI Región*. Revista Obras Públicas. Vol 24, Año 7, pp 28-36.

Wang, Y. Fu, X. Nordengen, P. (2004). *Current Application and Development of the Bridge Maintenance and Management Systems in China*. TRB 2004 Annual Meeting Report. Estados Unidos.

White, K. Minor, J. Derucher, K. (1992). *Bridge Maintenance, Inspection and Evaluation. Second Edition, Revised and Expanded*. Ed. Marcel Dekker Ink. Nueva York. Estados Unidos

Woodward, R. (1999). *Bridge Management in Europe. Deliverable 2 Review of Practices for Assessing the Condition of Bridges and Classification of Defects*. Inglaterra.

Woodward, R. (2000). *Bridge Management in Europe. Deliverable 12 Procedures for Determining a Condition Rating and Guidelines for Priorisation of Maintenance*. Inglaterra.

Woodward, R. (2001). *Bridge Management in Europe. Final Report*. Inglaterra.

## **ANEXO A. ESTUDIOS DETALLADOS DE CAPACIDAD**

### **A.1 Estudios detallados**

Los resultados entregados por la inspección visual no son suficientes para definir planes detallados de acción en gran parte de los escenarios que se pueden encontrar. Para esto se deben tener antecedentes más precisos y cuantificar factores cruciales en el desempeño del puente como son su capacidad de carga y capacidad vial.

El principal objetivo de un SGP es asegurar la seguridad de los usuarios. Algunos puentes poseen reservas de resistencia que les permite tolerar niveles avanzados de deterioro sin afectar la seguridad de los usuarios. Por otro lado, hay puentes que requieren una intervención urgente ante deterioros. La inspección visual no siempre puede detectar los problemas internos de la estructura, por ejemplo la corrosión de cables pretensados. También puede ocurrir que problemas menores en magnitud y extensión, pero que se localicen en puntos críticos de la estructura puedan ser un riesgo no considerado, como la propagación de grietas en conectores de acero. Para esos puentes, la evaluación de la capacidad de carga constituye un elemento fundamental en su gestión.

Además de la capacidad de carga, es posible determinar otros elementos que pueden ser objeto de estudios más profundos como son la capacidad vial y el nivel de socavación. En este capítulo se plantean las directrices para el uso estudios detallados dentro de la gestión de puentes, se consideran los siguientes estudios:

- Estudios para determinar la calidad y estado de los materiales de construcción.
- Estudios para determinar la capacidad de carga.
- Estudios hidráulicos avanzados.
- Estudios para determinar la capacidad vial de un puente.

## **A.2 Uso de los estudios detallados en la gestión de puentes.**

El sistema planteado se basa en el uso de la inspección visual para la priorización de inversiones. Sin embargo, un posible resultado de este nivel de gestión es la recomendación de estudios adicionales. Estos estudios corresponden a un tercer nivel de gestión en el que el número de estructuras abarcadas es menor, pero los recursos involucrados son mayores.

## **A.3 Estudio de los materiales de las estructuras.**

Como se ha especificado anteriormente, los puentes pueden estar constituidos por materiales variados como acero, hormigón, albañilería y madera. Para poder determinar la capacidad de soporte de un puente es necesario conocer la cantidad y calidad actual de los materiales que lo conforman para determinar su aporte a la resistencia de la estructura global. Los principales problemas y medidas de inspección recomendadas de acuerdo al material de construcción del elemento afectado son (López, 2008; Flores, 2004):

### **A.3.1 Puentes de acero.**

Los puentes de acero presentan como principales deterioros la corrosión, deformaciones locales y fallas en los conectores. La corrosión puede presentarse en forma local o generalizada y por diversas causas, en especial ambientales. Las deformaciones y fallas de los conectores son problemas locales, pero que al afectar elementos claves para la estabilidad y resistencia de la estructura pueden tener consecuencias graves para el funcionamiento de un puente. Para determinar las propiedades de los elementos estructurales deteriorados se debe definir la severidad de los deterioros y su efecto en la estructura.

Los efectos de los deterioros en el acero se pueden reflejar como pérdida de sección, con la consecuente pérdida de resistencia, o cambios en el funcionamiento de la estructura respecto a las condiciones de diseño, en especial cuando los deterioros afectan conectores.

Ante estas situaciones existen una serie de ensayos destructivos y no destructivos que se pueden utilizar para tener certeza sobre las condiciones de los elementos de acero. Una combinación de ambos tipos de ensayos es sugerida debido a su distinto alcance: los ensayos destructivos suelen entregar información más confiable pero localizada, mientras que los no destructivos tienen mayor variabilidad en los resultados, pero pueden abarcar mayor parte de la estructura. Dentro de los ensayos que se deben incorporar en este nivel de gestión destacan:

- **Ensayos para determinar el estado y calidad del acero:** se usará extracción y muestreo de cupones, estas son muestras de secciones de acero extraídas desde elementos resistentes del puente. Los cupones se pueden ensayar mecánicamente para determinar las propiedades del acero así como realizar un análisis metalúrgico que entregue información sobre la estructura del material, su microestructura, dureza y el daño ocasionado por la corrosión.
- **Ensayos para determinar profundidad de grietas y defectos en conectores:** se utilizará inspección con líquidos penetrantes o partículas magnéticas en grietas. Ambas técnicas consisten en la aplicación de compuestos que permean por las grietas y permiten observar su profundidad y extensión fácilmente. El uso adicional de ensayo de rayos X permite determinar el estado de soldaduras y cuantificar el agrietamiento de elementos de acero con precisión. Sus resultados permiten cuantificar la sección útil de los elementos y calcular la resistencia de la estructura.

- **Ensayos para determinar la velocidad de corrosión:** existen variados tipos de corrosión, algunos más agresivos que otros, como la corrosión por concentración. Cuando este deterioro es detectado en la inspección visual y el avance entre inspecciones es preocupante, es necesario aplicar ensayos que determinen su velocidad; dentro de estos destacan la tasa de corrosión mediante polarización lineal y el potencial de corrosión.

Estas técnicas son las principales que deben ser utilizadas al realizar estudios detallados para determinar el estado de elementos estructurales de acero; sin embargo, de acuerdo a las patologías observadas en la inspección visual se puede recurrir a otras técnicas que permitan un mejor análisis de las propiedades remanentes de los elementos del puente y la causa y avance de los deterioros.

### **A.3.2 Puentes de hormigón**

Los puentes de hormigón armado y hormigón pretensado predominan en la infraestructura vial del país y mundial. Los defectos más recurrentes en este tipo de estructura son grietas de diversos tipos, corrosión del refuerzo y pérdida de recubrimiento debido a la misma causa. Las membranas impermeables suelen estar deterioradas o son inexistentes, lo que junto al spray producido por el paso de los vehículos propicia un ambiente apto para el desarrollo de estos problemas y la contaminación con agentes externos como cloruros. Las juntas de la estructura son una zona localizada de deterioros, problema especialmente grave en configuraciones como puentes con vigas Gerber. Ante deterioros del recubrimiento, el acero de refuerzo queda expuesto a un clima adverso con posibilidades de corrosión por ataque de cloruros.

Los deterioros mencionados afectan las propiedades de resistencia de la estructura por pérdida de sección, pérdida de refuerzo y resistencia a la tracción. Adicionalmente, en los puentes viejos no existen planos que indiquen el refuerzo utilizado o no hay certeza de que lo construido represente de manera fidedigna no

estipulado en los planos existentes. Esta es una limitante mayor para determinar la capacidad de carga del puente.

El agrietamiento puede deberse a distintos problemas de origen. Al analizar en detalle estas patologías es necesario identificar si las grietas corresponden a grietas activas o pasivas y cual es el origen de éstas: reacción alcali-sílice, retracción plástica u otra patología del hormigón fresco, sobretensiones, ciclos de hielo-deshielo, etc. Poder determinar el tipo de grieta es fundamental para definir qué ensayos se deben realizar para cuantificar su efecto, determinar la posible evolución de los deterioros y con esto un plan de acción.

La decisión respecto a los ensayos a utilizar debe ser tomada en base a la inspección realizada por un ingeniero experto en deterioros y rehabilitación de estructuras, capaz de definir las posibles causas de los deterioros y programar una inspección detallada que apunte a cuantificar esos factores según los resultados de la inspección visual. Los principales ensayos a utilizar son:

- **Ensayos para detección de armaduras:** las armaduras son un componente resistente fundamental en elementos de hormigón armado aportando la resistencia a la tracción y corte, junto con definir las posibles formas de falla del elemento. Para poder cuantificar su aporte es necesario conocer la cantidad, ubicación y calidad de las armaduras. Para determinar su cantidad y ubicación se utilizará el ensayo pacómetro el que permite determinar la ubicación y diámetro de barras de acero. El pacómetro se debe complementar con ensayos semidestructivo en el que se elimine el recubrimiento para poder determinar su espesor y observar el estado y diámetro de las barras. Otros ensayos complementarios pueden ser las radiografías y el uso de radares de penetración superficial, que entregan una imagen más amplia de la ubicación y diámetro de los refuerzos y que es aplicable a refuerzos con cables pre o

postensados. La calidad del acero de refuerzo debe determinarse mediante la toma de cupones siguiendo el mismo método que en las estructuras de acero. La calidad del recubrimiento se puede obtener en base a la aplicación del ensayo Capotest. En este ensayo se coloca un inserto en el recubrimiento y se mide la resistencia al arranque.

- **Ensayos para determinar la calidad de los hormigones:** la calidad y estado de los hormigones es una incógnita en puentes deteriorados y en puentes antiguos en los que no se tiene certeza de los materiales usados respecto a las normas actuales. La determinación de la calidad de los hormigones se hará en base a una combinación de ensayos destructivos y no destructivos. El ensayo esclerométrico (martillo Schmidt) se privilegiará como ensayo no destructivo complementado con la toma y ensayo de testigos. El uso de más testigos se usará en estructuras más deterioradas, de mayor importancia estratégica, ubicadas en un ambiente agresivo o donde se tenga una lata incertidumbre respecto a los materiales de construcción. El muestreo se hará por cada elemento resistente (vigas, tablero, columnas, etc) y se complementará con ensayos específicos según las patologías observadas.
- **Ensayos para determinar el efecto de patologías específicas:** la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón armado se da principalmente por carbonatación o presencia de cloruros. Es por esto que ante este fenómeno es necesario realizar ensayos específicos que permitan cuantificarlos. La carbonatación consiste en la penetración de monóxido de carbono en el hormigón disminuyendo el pH y facilitando la corrosión del acero. Para detectar la penetración de la carbonatación se utiliza la medición del pH mediante una solución de fenoltaleína a testigos. La presencia de cloruros es la otra causa de corrosión de armaduras. En este caso es necesario determinar la permeabilidad de los iones y el contenido, en especial en ambientes

agresivos como la cercanía del mar. La finalidad de ambos ensayos es determinar el estado actual y pronosticar la futura corrosión.

### **A.3.3 Puentes de albañilería**

La presencia de puentes de albañilería en los caminos chilenos es baja en comparación con estructuras de acero y hormigón. Sin embargo, aún hay estructuras de estos materiales en diferentes condiciones en vías principales y secundarias. La humedad y el acceso de sales causantes de reacciones en el mortero y eflorescencia son los principales problemas relacionados con el ambiente que presentan los puentes de albañilería. Otras patologías comunes son deformaciones diferenciales y pérdida de aplomo en muros. Estos errores se deben al diseño y construcción de los puentes más que a su interacción con las cargas y el ambiente.

Un problema que ocurre constantemente en puentes de albañilería es el desconocimiento de la resistencia de los bloques que lo componen. Esto se debe a la variabilidad de los elementos usados en la construcción.

Frente a estos problemas, la acción ante deterioros en puentes de albañilería puede incluir:

- **Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los bloques:** ante la falta de información respecto a la resistencia u otras propiedades de los bloques de albañilería es necesario aplicar ensayos que permitan estimarlas. Dentro de los ensayos destructivos que sirven para esto está la toma y ensayo de testigos. Esto permite determinar la resistencia de los bloques, la densidad, absorción y porosidad de los ladrillos. Otro de los ensayos que se puede aplicar es la medición de la resistencia in situ aplicando el ensayo de compresión de la “gata plana”. Este ensayo consiste en insertar una gata en

cortes realizados al mortero y medir la resistencia a la compresión de una sección de un muro u otro elemento de albañilería.

- **Ensayos para determinar la presencia de refuerzo:** la albañilería es usada en elementos estructurales de puentes con refuerzo de barras de acero. Para determinar su presencia se deben usar los mismos ensayos descritos para estructuras de hormigón armado (pacómetro, rayos X, radar de penetración superficial).
- **Ensayos para determinar el ingreso y presencia de agua:** las patologías más comunes en albañilería se deben al ingreso de agua y agentes externos que afectan la resistencia de los bloques y el mortero que las une como la eflorescencia. Para determinar el ingreso de agua ante estos deterioros se usan ensayos como la medición de permeabilidad in situ en base al bombeo de agua a presión y la termografía para detectar zonas húmedas y permeables.

#### **A.3.4 Puentes de madera**

La madera, al ser un material orgánico, tiene como principales mecanismos de deterioros problemas biológicos, químicos y otros físicos. En puentes, la pudrición es el principal deterioro debido a las condiciones ambientales de las estructuras que facilitan la aparición y desarrollo de hongos. Otro deterioro producido en puentes es el deterioro físico por ciclos de mojado y secado que produce la expansión y contracción cíclica de las fibras. Adicionalmente pueden ocurrir diversos tipos de ataques biológicos ya sean de coleópteros o termitas.

Un elemento común en las diversas formas de deterioro es que el origen se debe a la penetración de líquidos al interior de los elementos o a la exposición directa a un ambiente agresivo. La inspección y medidas tomadas en este nivel de detalle en estructuras de madera se enfocan a cuantificar el efecto de ambos factores de deterioro y

tomar medidas de prevención frente a ellos. La inspección puede incluir la medición de la humedad de la madera y la toma de muestras para análisis biológico y/o químico que permita determinar la patología que se enfrenta y enfocar la prevención y rehabilitación en cada caso.

Las medidas de prevención se enfocan en la disminución de la humedad, por secado previo de las piezas y un sellado que impida su ingreso, o a colocar barreras al ataque de agentes nocivos ya sea con preservantes contra mecanismos biológicos o métodos de protección mecánica como el uso de camisas que aíslen la madera.

#### **A.4 Estudio de la capacidad de carga de un puente**

Al conocer las reales condiciones de los materiales que componen un puente es posible formular un modelo de la estructura para determinar su capacidad de carga. Esto es importante ante:

- Signos de deterioros que puedan disminuir la capacidad del puente.
- El paso de una carga excepcionalmente pesada.
- Cuando el estándar de diseño de un puente queda obsoleto y se quiere asegurar que cumpla los nuevos requerimientos.

La información obtenida sobre el real estado y calidad de los materiales permite determinar la capacidad de los miembros del puente ya sea la resistencia a la flexión, compresión, corte o la capacidad de transmisión de esfuerzos y adherencia de los elementos. Para la evaluación de la capacidad de carga se recomienda el uso de métodos probabilísticos que introduzcan la incertidumbre en el cálculo, esto principalmente a la falta de certeza en la evolución de las cargas en el tiempo y de las propiedades de los materiales.

El desarrollo de la ingeniería estructural permite realizar este análisis en base a modelos dinámicos que reflejen la respuesta de la estructura ante cargas. Se deben considerar en el diseño todas las cargas que afectan al puente, siendo de primordial importancia las cargas de tránsito, sísmicas e hidráulicas que fueron los factores de riesgo considerados en los capítulos previos. La capacidad y riesgo sísmico del puente ya fue evaluado, en este nivel de gestión esta capacidad debería reevaluarse con los datos de la real capacidad y dimensiones de los elementos del puente obtenidos en base a la inspección detallada.

Se debe analizar la respuesta de la estructura y sus obras complementarias ante cargas hidráulicas correspondientes a crecidas de períodos de retorno de 50 años o el que se determine correspondiente. El problema de colapso de puentes por fuerzas hidráulicas es grave y usual por lo que se deben desarrollar estudios en este aspecto cuando se detecte en niveles previos una alta vulnerabilidad hidráulica del puente y un nivel avanzado de deterioro en elementos resistentes primarios de la superestructura o elementos de la subestructura.

Como la principal función de un puente es permitir el paso vehicular sobre un obstáculo, hidráulico en este caso, se debe analizar la capacidad de soporte al paso de cargas pesadas. Basado en los datos recolectados se debe realizar un análisis del efecto de una carga vertical que represente un vehículo pesado a definir. Este análisis permite determinar cual es el peso máximo que puede transportar un camión para un tránsito seguro sobre la estructura.

#### **A.5 Estudios hidráulicos**

Al presentarse problemas hidráulicos en un puente, es altamente recomendable realizar estudios detallados más precisos que la inspección visual que permitan cuantificar la ocurrencia y trascendencia de fenómenos peligrosos como la socavación o la obstrucción del cauce.

Al ser la socavación de estribos o pilotes el principal problema que lleva al colapso de los puentes es necesario cuantificar su severidad y la tasa de aumento del problema. En casos en donde no existe claridad sobre la configuración de los pilotes este problema puede agravarse. En estos casos se recomienda realizar ensayos destructivos o no destructivos con el fin de definir la presencia, tipo y tamaño de los pilotes y estratos del lecho del río. Con esta información de las condiciones de fundación se puede cuantificar el efecto de la socavación observada.

Como la socavación es difícil de detectar en ríos de gran caudal, en especial en las épocas de lluvia y deshielo que es cuando el fenómeno se torna más grave se recomienda el uso de sistemas de monitoreo continuo de la progresión de la socavación, mediante sensores insertos en las fundaciones.

El estado hidráulico del río ante un puente debe ser analizado por un ingeniero hidráulico que pueda cuantificar de manera más detallada las condiciones del flujo. En esta instancia puede ser recomendable la medición de velocidad de escurrimiento y potencial de arrastre lo que requiere realizar ensayos y un conocimiento especializado mayor que el que posee el inspector habitual de puentes.

#### **A.6 Estudio de la capacidad vial de la estructura.**

Desde el punto de vista del transporte, el puente debe ser capaz de mantener las condiciones de servicio del resto de la vía, no siendo causante de congestión ni un punto donde se concentren los accidentes. Al realizar estudios detallados, según los factores descritos anteriormente, puede ser recomendable analizar si la calzada posee el ancho óptimo para la demanda de tráfico actual y proyectado en la vía a la que pertenece el puente.

Para determinar el ancho óptimo de calzada se debe calcular la capacidad del camino al que pertenece el puente y la capacidad del puente en si. Para esto se

recomienda el uso del Manual de Capacidad de Carreteras (TRB, 2000). Al comparar la capacidad del puente con la del camino se puede determinar si este es o será causante de congestión. Esta información se puede cruzar con los accidentes y los costos de usuario para determinar los efectos perceptibles de la congestión.

Otro elemento a considerar es la capacidad del puente frente a las demandas proyectadas de tránsito. Para esto se debe estimar el tránsito en base a datos existentes o mediciones y proyectarlo según expectativas de crecimiento. Se debe analizar si el puente cumple con la capacidad necesaria para el volumen esperado. Las decisiones de ampliación o mejora de la capacidad vial de un puente se deben realizar de acuerdo a criterios técnicos (capacidad) y económicos (costo de los usuarios).

## ANEXO B. ENCUESTA PILOTO ÍNDICE DEL PUENTE

A continuación se presenta la encuesta piloto para determinar el Índice combinado del Puente:

TM-07	Sistema de Gestión de Puentes	REV 1
	Encuesta Importancia Estratégica e Índice Global de Puentes	FECHA 30.04.08
<b>DATOS PERSONALES</b>		
Nombre: _____		
Institución: _____		
Profesión: _____		
Fecha de llenado encuesta _____		
<b>INSTRUCCIONES DE LLENADO</b>		
<p>A continuación usted encontrará 2 encuestas que buscan determinar 2 índices que formarían parte de una proposición de Sistema de Gestión de Puentes de inversiones.</p> <p>Por favor rellenar esta encuesta y devolver vía electrónica al mail <a href="mailto:svalenz@uc.cl">svalenz@uc.cl</a></p>		
<b>1 IMPORTANCIA ESTRATÉGICA</b>		
<p>La Importancia Estratégica se define como la importancia de un puente dentro de la red vial en que se encuentra de acuerdo a sus características y a las características de la red en el sistema vial. Este elemento permite priorizar inversiones cuando se tienen variadas estructuras en condiciones similares de deterioro.</p>		

### 1.1 PESO DE LOS FACTORES QUE COMPONEN LA IMPORTANCIA ESTRATÉGICA

A continuación usted encontrará un listado con los factores que determinan la importancia de un puente de acuerdo a estudios existentes y la opinión de expertos. Por favor asignar a cada factor una puntuación de 0 a 100, donde 0 indica nula importancia dentro del índice y 100 importancia máxima.

#### 1. Existencia de alternativas

Se considera más importante un puente que carece de rutas alternativas o las existentes implican un aumento significativo en el tiempo de viaje o la serviciabilidad de estas rutas es menor a la del camino original donde se encuentra el puente.

#### 2. Tránsito

Se considera más importante a un puente con mayor nivel de tránsito debido a que los costos de usuario a nivel agregado dependen directamente del tránsito sobre la estructura. Se mide a través del TMDA.

#### 3. Ancho del puente

Se considera más importante a un puente con más pistas y cuyas pistas tienen un ancho permiten un paso fluido de vehículos pesados

#### 4. Largo del puente

Se considera más importante un puente de mayor longitud debido a su mayor costo y dificultad de reconstrucción.

#### 5. Restricciones de peso

Se considera más importante un puente que esté exento de limitaciones al paso de vehículos pesados.

#### 6. Entorno socioeconómico

Depende de las características del tránsito del camino en que se encuentra el puente de acuerdo a la producción de la zona. Si el puente se encuentra en una ruta por la que transitan los principales productos de una región se considera de mayor importancia que uno por el que no circulan este tipo de productos.

### 1.2 OTROS ELEMENTOS Y COMENTARIOS

7. \_\_\_\_\_

8. \_\_\_\_\_

Comentarios:

## 2. INDICE DEL PUENTE

Uno de los objetivos de este estudio es determinar un índice que represente el estado general de un puente considerando el estado de deterioro que presenta, la vulnerabilidad hidráulica de su configuración, el riesgo sísmico al que está sometido y la importancia estratégica del puente en la red.

Cada uno de los elementos considerados se define de la siguiente manera:

- a. Estado de deterioro: Corresponde al nivel de daño general de la estructura ponderando los deterioros observados en sus elementos y la importancia de cada elemento en la integridad global del puente.
- b. Vulnerabilidad hidráulica: es la probabilidad del puente de deteriorarse y fallar debido a los efectos de las fuerzas hidráulicas incluye tanto la socavación presentada como las características del flujo y entorno.
- c. Riesgo sísmico: es la probabilidad de que un puente sufra daño y falle de acuerdo a su ubicación, la que determina las fuentes sísmicas que puedan afectarlo, y la configuración estructural, que determina la respuesta ante las cargas originadas en esas fuente.
- d. Importancia estratégica: se define como la importancia de un puente dentro de la red vial en que se encuentra de acuerdo a sus características y a las características de la red en el sistema vial

### 2.1. DEFINICIONES DE ESTADO

Para cada elemento descrito en la sección anterior se definen los siguientes estados posibles:

Deterioro: se califica en una escala del 1 al 5. Donde 1 es el peor estado y 5 corresponde a un puente como nuevo.

Condición del Elemento		Descripción
1	Peligroso	En mal estado, reparaciones urgentes, peligro para los usuarios
2	Malo	Estado deficiente, reparaciones a la brevedad. Riesgo menor.
3	Regular	Estado regular, se recomienda reparación.
4	Bueno	Deterioros menores, no afectan la seguridad del elemento ni usuarios
5	Como nuevo	No se observan deterioros significativos

Importancia estratégica: Se consideran tres estados. Alta, media, baja.

Importancia Estratégica	Descripción
Alta	El puente tiene un alto tránsito y las rutas alternativas significan un aumento significativo del tiempo de viaje. El puente posee una gran longitud y elevado estándar. Por él se transportan productos fundamentales para la economía local
Media	El puente tiene un tránsito medio y existen rutas alternativas con perturbaciones medias al tránsito normal. La longitud y ancho del puente son regulares. Pueden transportarse por él productos importantes para la economía local
Baja	El puente tiene un bajo tránsito y las rutas alternativas no significan un aumento significativo del tiempo de viaje. La longitud y ancho son pequeños. Usualmente no se transportan por él mercancías fundamentales para la economía local.

Vulnerabilidad hidráulica: se consideran 2 estados. Alta vulnerabilidad y baja vulnerabilidad

Vulnerabilidad	Descripción
Alta	Es probable que el puente falle debido a evidencias de socavación importante, crecidas reiteradas, interferencia al flujo y problemas en ele lecho y riberas.
Baja	Es poco probable que el puente falle, la interferencia del puente al flujo es baja, la socavación es menor, al igual que la erosión del lecho y riberas.

Riesgo sísmico: se consideran 2 estados. Alta y bajo riesgo sísmico.

Riesgo Sísmico	Descripción
Alto	Es probable la falla por sismos. Debido a su ubicación y configuración el nivel de daño que puede sufrir el puente es importante.
Bajo	Es poco probable la falla. Según las fuentes identificadas y el diseño de la estructura, el daño ante un sismo debería ser menor.

## 2.2. ACCIONES DE MANTENCIÓN Y REPARACIÓN

Frente a cada estado se busca recomendar acciones globales de mantención y reparación. Las acciones consideradas son:

1. **Mantenimiento Rutinaria:** consiste en actividades permanentes e independientes del estado del puente realizadas para mantener el estándar de la estructura y corregir deterioros menores. Por ejemplo: limpieza de barbacanas, pintura de barandas.
2. **Reparación:** estas actividades buscan recuperar el estado de algún elemento cuyo nivel de seguridad o servicio ha disminuido frente al estado original.
3. **Refuerzo o reconstrucción:** consiste en mejorar el estándar del puente actual y aumentar su capacidad de carga y/o vial ya sea reforzando la estructura existente o construyendo un nuevo puente.
4. **Limitación de cargas o paso:** consiste en impedir el paso de vehículos pesados o cerrar el puente temporalmente hasta obtener mayor información proveniente de estudios detallados que permita tomar otras medidas
5. **Estudios adicionales:** consiste en la aplicación de estudios detallados enfocados a la cuantificación de los problemas observados y sus causas. Por ejemplo: estudio de capacidad de carga, ensayo de nivel de corrosión, determinación de capacidad vial.

## 2.3. INSTRUCCIONES ESPECÍFICAS DE LLENADO

A continuación usted encontrará 37 escenarios correspondientes a distintas combinaciones de los elementos previamente definidos. Para cada escenario otorgue una calificación del 1 al 10 donde 1 representa la peor condición posible y 10 la mejor. Adicionalmente, indique cual o cuales medidas de mantención y reparación aplicaría de acuerdo a la lista de la sección previa.

## 2.4. EJEMPLO DE LLENADO DE ENCUESTA

Esc.	Estado de deterioro	Vulnerabilidad hidráulica	Riesgo Sísmico	Importancia Estratégica	Nota (1 al 10)	Acciones de M & R
20	4	Baja	Alto	Alta	7	Reparación

Recuerde que:

- \* Un estado de deterioro 4 representa un elemento en buen estado, con deterioros menores que no afectan la integridad del elemento ni la seguridad de los usuarios
- \* Una vulnerabilidad hidráulica baja indica una probabilidad de falla baja por efecto hidráulico asociado a poca socavación e interferencia del flujo. El lecho y riberas están en buen estado y el nivel de aguas no afecta al tablero ni el tránsito.
- \* Un riesgo sísmico alto implica que debido a la ubicación geográfica del puente y la configuración estructural existe un riesgo elevado de sufrir daño considerable o posible falla debido a sismos.
- \* Una importancia estratégica alta indica que debido a las características del puente (ancho, largo, limitaciones de carga) y a las de la vía (existencia de alternativas, nivel de tránsito, actividades económicas) el puente es fundamental para el sistema vial en que está inserto.

## 2.5 ESCENARIOS

Esc.	Estado de deterioro	Vulnerabilidad hidráulica	Riesgo Sísmico	Importancia Estratégica	Nota (1 al 10)	Acciones de M & R
1	2	Baja	Bajo	Media		
2	1	Baja	Alto	Alta		
3	3	Alta	Bajo	Media		
4	4	Alta	Alto	Baja		
5	5	Alta	Bajo	Alta		
6	5	Alta	Alto	Baja		
7	2	Alta	Alto	Baja		
8	3	Alta	Bajo	Alta		
9	3	Alta	Alto	Baja		
10	4	Alta	Alto	Baja		
11	1	Alta	Alto	Media		
12	2	Baja	Bajo	Alta		
13	3	Baja	Alto	Media		
14	5	Alta	Bajo	Baja		
15	1	Baja	Bajo	Alta		
16	5	Alta	Alto	Alta		
17	2	Baja	Alto	Alta		
18	1	Baja	Bajo	Baja		
19	4	Alta	Alto	Media		
20	4	Baja	Alto	Alta		
21	3	Baja	Bajo	Media		
22	2	Baja	Alto	Media		
23	5	Alta	Bajo	Media		
24	5	Alta	Alto	Media		
25	2	Baja	Bajo	Baja		
26	1	Baja	Alto	Baja		
27	2	Baja	Alto	Baja		
28	4	Alta	Bajo	Baja		
29	4	Alta	Bajo	Alta		
30	3	Alta	Alto	Media		
31	1	Alta	Bajo	Alta		
32	5	Baja	Bajo	Media		
33	4	Alta	Alto	Alta		
34	3	Baja	Alto	Alta		
35	3	Alta	Bajo	Baja		
36	3	Baja	Alto	Baja		
37	3	Baja	Bajo	Alta		

Los resultados de la encuesta se observan en la siguiente tabla:

Tabla B-1: Resultados de IP en Encuesta Piloto

Experto	Escenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Nota	3	1	3	3	4	4	1	2	2,5	3	1	2,5	2,5	6	1	2,5	1	1	2,5
2	Nota	3	1	4	5	6	5	2	3	3	5	1	3	5	7	2	5	2	2	5
3	Nota	4	1	4	5	7	7	2	4	3	5	1	3	5	7	2	7	2	2	4
	Promedio	3,33	1,00	3,67	4,33	5,67	5,33	1,67	3,00	2,83	4,33	1,00	2,83	4,17	6,67	1,67	4,83	1,67	1,67	3,83
	DeEst	0,58	0,00	0,58	1,15	1,53	1,53	0,58	1,00	0,29	1,15	0,00	0,29	1,44	0,58	0,58	2,25	0,58	0,58	1,26
	Lim Sup	4,5	1,0	4,8	6,6	8,7	8,4	2,8	5,0	3,4	6,6	1,0	3,4	7,1	7,8	2,8	9,3	2,8	2,8	6,3
	Lim Inf	2,2	1,0	2,5	2,0	2,6	2,3	0,5	1,0	2,3	2,0	1,0	2,3	1,3	5,5	0,5	0,3	0,5	0,5	1,3
	Coef Variaci	0,17	0,00	0,16	0,27	0,27	0,29	0,35	0,33	0,10	0,27	0,00	0,10	0,35	0,09	0,35	0,47	0,35	0,35	0,33
	Varianza	0,33	0,00	0,33	1,33	2,33	2,33	0,33	1,00	0,08	1,33	0,00	0,08	2,08	0,33	0,33	5,08	0,33	0,33	1,58
Experto	Escenario	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
1	Nota	4	5	2	5	3	4	1	2,5	5	3	2	1	9	2	2	4	3	4	
2	Nota	6	6	3	7	6	4	2	3	6	5	2	1	9	4	4	3	4	5	
3	Nota	5	5	2	8	6	3	1	2	6	5	3	1	9	5	4	3	4	5	
	Promedio	5,00	5,33	2,33	6,67	5,00	3,67	1,33	2,50	5,67	4,33	2,33	1,00	9,00	3,67	3,33	3,33	3,67	4,67	
	DeEst	1,00	0,58	0,58	1,53	1,73	0,58	0,58	0,50	0,58	1,15	0,58	0,00	0,00	1,53	1,15	0,58	0,58	0,58	
	Lim Sup	7,0	6,5	3,5	9,7	8,5	4,8	2,5	3,5	6,8	6,6	3,5	1,0	9,0	6,7	5,6	4,5	4,8	5,8	
	Lim Inf	3,0	4,2	1,2	3,6	1,5	2,5	0,2	1,5	4,5	2,0	1,2	1,0	9,0	0,6	1,0	2,2	2,5	3,5	
	Coef Variaci	0,20	0,11	0,25	0,23	0,35	0,16	0,43	0,20	0,10	0,27	0,25	0,00	0,00	0,42	0,35	0,17	0,16	0,12	
	Varianza	1,00	0,33	0,33	2,33	3,00	0,33	0,33	0,25	0,33	1,33	0,33	0,00	0,00	2,33	1,33	0,33	0,33	0,33	

Tabla B-2: Resultados de Acciones de Conservación en Encuesta Piloto

Respuesta	1	2	3	Respuesta	1	2	3
1	REP-LC	REP-LC	REP	20	EA	REP-EA	EA
2	REC	REC-LC	REC	21	REP-LC	REP	Rep
3	REP-LC	REP-EA	REP-EA	22	REF	REP-LC	REP-EA
4	EA-LC	EA	EA	23	REP-LC	EA	EA
5	REP-LC	REP-EA	EA-LC	24	EA-LC	EA	EA
6	EA	REP-EA	EA	25	REP-LC	REP	REP
7	REC	REP-REF	REP-EA	26	REC	REP-LC	REP-REC
8	REP-LC	REP-EA	REP	27	REC	REP-LC	REP
9	EA-LIM	REP-EA	REP-EA	28	REP-LC	REP-EA	EA
10	REP-LC	EA-MR	EA	29	REP-LC	REP-LC	EA
11	EA-LC	REC	REC	30	EA	REP-EA-LC	REP-EA
12	REP-LC	REP	REP	31	REC	REC-LC	REC
13	EA	REP	REP	32	MR	MR	MR
14	REP-LC	EA	EA	33	EA-LC	EA	EA
15	REC	REP-LC	REC	34	EA-LC	REP-LC	REP-EA
16	EA-LC	EA-LC	EA	35	REP-LC	REP-EA	REP-EA
17	REC	REP-LC	REP-EA	36	EA-LC	REP	REP
18	REC	REP-REC	REP	37	REP	REP	REP
19	EA-LC	EA	EA				
	MR	Mantenimiento Rutinaria					
	REP	Reparación					
	REF	Refuerzo					
	REC	Reconstrucción					
	EA	Estudios Adicionales					
	LC	Limitación de Carga					

Los resultados muestran convergencia, con coeficientes de variación menores al 50% en todos los escenarios. Las acciones de conservación muestran un 63% de coincidencia entre los distintos expertos.

## ANEXO C. ENCUESTA DEFINITVA ÍNDICE DEL PUENTE

### Objetivo de la encuesta

La presente encuesta tiene como objetivo determinar 2 índices que formarían parte de una proposición de Sistema de Gestión de Puentes y asociar distintas actividades de mantención y rehabilitación de acuerdo al estado del puente. Los índices en desarrollo son el índice de Importancia Estratégica de un puente y el índice combinado del Puente.

El Sistema de Gestión de Puentes corresponde a una tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería desarrollada en la Pontificia Universidad Católica de Chile.

### Datos personales del encuestado

*Nombre:*

*Institución o empresa:*

*Profesión:*

*Fecha de llenado de la encuesta:*

### Instrucciones generales

En las siguientes hojas usted encontrará 2 encuestas. La primera busca determinar el Índice de Importancia Estratégica de un puente. La segunda encuesta busca determinar el Índice combinado del Puente y asociar acciones de conservación a distintos estados de la estructura.

Por favor conteste las encuestas según las instrucciones de respuesta de cada una.

El tiempo estimado de llenado total de ambas encuestas es de 30 minutos.

### Instrucciones de envío

Por favor devuelva esta encuesta antes del **viernes 13 de Junio** vía electrónica al mail [snvalenz@uc.cl](mailto:snvalenz@uc.cl).

Si prefiere hacerlo vía correo convencional enviarla a

- Sergio Valenzuela Diaz
- Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción.
- Vicuña Mackena 4869 Edificio San Agustín, 3er piso, Macul
- Fono: 6864245

## 2. Índice combinado del Puente

Uno de los objetivos de este estudio es determinar un índice combinado que represente el estado general de un puente considerando el estado de deterioro que presenta, la vulnerabilidad hidráulica de su configuración, el riesgo sísmico al que está sometido y la importancia estratégica del puente en la red. Adicionalmente, se busca asociar acciones de mantención y rehabilitación a los estados determinados.

Cada uno de los elementos considerados se define de la siguiente manera:

**1. Condición del Puente:** Corresponde al nivel de daño general de la estructura ponderando los deterioros observados en sus elementos y la importancia de cada elemento en la integridad global del puente.

**2. Vulnerabilidad hidráulica:** es la probabilidad del puente de deteriorarse y fallar debido a los efectos de las fuerzas hidráulicas. Incluye tanto la socavación presentada como las características del flujo y entorno.

**3. Riesgo sísmico:** es la probabilidad de que un puente sufra daño y falle de acuerdo a su ubicación, la que determina las fuentes sísmicas que puedan afectarlo, y la configuración estructural, que determina la respuesta ante las cargas originadas en esas fuente.

**4. Importancia estratégica:** se define como la importancia de un puente dentro de la red vial en que se encuentra de acuerdo a sus características y a las características de la red en el sistema vial.

### 2.1. Definiciones de posibles estados

Para cada elemento descrito en la sección anterior se definen los siguientes estados posibles:

**Condición del Puente:** refleja el estado de deterioro, se califica en una escala del 1 al 5. Donde 1 es el peor estado y 5 corresponde a un puente como nuevo.

Condición del Elemento		Descripción
1	Peligroso	En mal estado, reparaciones urgentes, peligro para los usuarios
2	Malo	Estado deficiente, reparaciones a la brevedad. Riesgo menor.
3	Regular	Estado regular, se recomienda reparación.
4	Bueno	Deterioros menores, no afectan la seguridad del elemento ni usuarios
5	Como nuevo	No se observan deterioros significativos

**Vulnerabilidad hidráulica:** se consideran 2 estados. Alta vulnerabilidad y baja vulnerabilidad

Vulnerabilidad	Descripción
<b>Alta</b>	Es probable que el puente falle debido a evidencias de socavación importante, crecidas reiteradas, interferencia al flujo y problemas en el lecho y riberas.
<b>Baja</b>	Es poco probable que el puente falle, la interferencia del puente al flujo es baja, la socavación es menor, al igual que la erosión del lecho y riberas.

**Riesgo sísmico:** se consideran 2 estados. Alta y bajo riesgo sísmico.

Riesgo Sísmico	Descripción
<b>Alto</b>	Es probable la falla por sismos. Debido a su ubicación y configuración el nivel de daño que puede sufrir el puente es importante.
<b>Bajo</b>	Es poco probable la falla. Según las fuentes identificadas y el diseño de la estructura, el daño ante un sismo debería ser menor.

**Importancia estratégica:** Se consideran tres estados. Alta, media, baja.

Importancia Estratégica	Descripción
<b>Alta</b>	El puente tiene un alto tránsito y las rutas alternativas significan un aumento significativo del tiempo de viaje. El puente posee una gran longitud y elevado estándar. Por él se transportan productos fundamentales para la economía local.
<b>Media</b>	El puente tiene un tránsito medio y existen rutas alternativas con aumentos en el tiempo de viaje y un estándar menor. La longitud y ancho del puente son regulares. Pueden transportarse por él productos importantes para la economía local.
<b>Baja</b>	El puente tiene un bajo tránsito y las rutas alternativas no significan un aumento significativo del tiempo de viaje. La longitud y ancho son pequeños. Usualmente no se transportan por él mercancías fundamentales para la economía local.

## 2.2. Definición de acciones de Mantenimiento y Rehabilitación (M & R)

Frente a cada estado se busca recomendar acciones globales de mantención y reparación. Las acciones consideradas son:

- a. **No hacer nada:** se deben considerar las consecuencias del deterioro que puede sufrir la estructura y los costos adicionales de futuras intervenciones.
- b. **Mantención rutinaria:** es la mantención llevada a cabo regularmente durante la vida de la estructura. El tipo de mantención depende del tipo de estructura pero suelen ser limpieza de juntas de expansión y drenaje de la estructura, renovación de la pintura anticorrosión de los elementos metálicos, barreras de seguridad e iluminación del puente.
- c. **Reparación:** estas actividades buscan recuperar el estado de algún elemento cuyo nivel de seguridad o servicio ha disminuido frente al estado original.
- d. **Refuerzo o reconstrucción:** consiste en mejorar el estándar del puente actual y aumentar su capacidad de carga y/o vial ya sea reforzando la estructura existente o construyendo un nuevo puente.
- e. **Limitación de cargas o paso:** consiste en impedir el paso de vehículos pesados o cerrar el puente temporalmente hasta obtener mayor información proveniente de estudios detallados que permita tomar otras medidas.
- f. **Estudios adicionales:** consiste en la aplicación de estudios detallados enfocados a la cuantificación de los problemas observados y sus causas. Por ejemplo: estudio de capacidad de carga, ensayo de nivel de corrosión, determinación de capacidad vial.

### 2.3. Instrucciones de respuesta.

A continuación usted encontrará 20 escenarios (ESC) correspondientes a distintas combinaciones de los factores previamente definidos. Para cada escenario otorgue una calificación del 1 al 10 donde 1 representa la peor condición posible y 10 la mejor. Adicionalmente, indique cual o cuales medidas de mantención y reparación aplicaría de acuerdo a la lista de la sección previa.

A continuación se adjunta un ejemplo de respuesta ante un posible escenario:

Esc.	Condición del Puente	Vulnerabilidad hidráulica	Riesgo Sísmico	Importancia Estratégica	Nota (1 al 10)	Acciones de M & R
20	Bueno	Baja	Alto	Alta	7	<b>Reparación</b>

### 2.4 Formulario de respuesta Índice Global del Puente y acciones de M & R.

Esc.	Estado de deterioro	Vulnerabilidad hidráulica	Riesgo Sísmico	Importancia Estratégica	Nota (1 al 10)	Acciones de M & R
1	Malo	Alta	Bajo	Alta		
2	Bueno	Alta	Alto	Media		
3	Peligroso	Baja	Bajo	Alta		
4	Excelente	Alta	Bajo	Baja		
5	Malo	Alta	Alto	Media		
6	Peligroso	Alta	Bajo	Baja		
7	Malo	Baja	Alto	Baja		
8	Regular	Alta	Bajo	Media		
9	Regular	Alta	Alto	Baja		
10	Excelente	Baja	Alto	Alta		
11	Bueno	Alta	Bajo	Baja		
12	Peligroso	Baja	Alto	Media		
13	Regular	Baja	Alto	Media		
14	Bueno	Baja	Alto	Alta		
15	Excelente	Baja	Bajo	Baja		
16	Malo	Baja	Bajo	Media		
17	Excelente	Alta	Alto	Media		
18	Peligroso	Alta	Alto	Alta		
19	Malo	Baja	Alto	Baja		
20	Regular	Baja	Bajo	Alta		

**Muchas gracias por su colaboración.**

## ANEXO D. ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE COMBINADO DEL PUENTE

### D.1 Resultados Obtenidos

Para determinar el modelo matemático para la predicción del índice combinado del puente se siguió esta metodología:

- a. Obtención y ordenamiento de respuestas de las encuestas.
- b. Análisis de la consistencia interna de cada encuesta.
- c. Análisis de los valores representativos de las encuestas.
- d. Exclusión de valores y encuestados fuera de rango de aceptación e iteración de los valores representativos por escenario.
- e. Determinación de la ecuación de regresión.
- f. Análisis de los estadísticos de la regresión.
- g. Análisis de los residuos de la regresión.

El análisis de la consistencia interna, medida a través de un escenario replicado, entregó dos expertos sin consistencia total, pero cuya variación fue igual o menor a un 20% de la escala de medición, por lo que igualmente fueron incluidos en el análisis. En la Se observan los resultados de los expertos sin consistencia interna:

**Tabla D-1: Análisis de consistencia interna**

Var. Independientes					Expertos	
ESC	ICP	VH	RS	IE		
7	2	4	2	1	4	5
19	2	4	2	1	6	6
<b>Variación</b>					<b>20%</b>	<b>10%</b>

Los valores obtenidos de las encuestas y las iteraciones para excluir datos fuera de rango de aceptación se observan en las siguientes tablas:

Tabla D-2: Resultados de la encuesta

ESC	ICP	VH	RS	IE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	IP Media	SD	L Sup	L Inf	C Var.
1	2	2	4	5	3	3	2	1	4	3	2	3	2	1	5	3	1	3	2	1	3	2,47	1,12	4,72	0,22	46%
2	4	2	2	3	4	6	6	1	5	7	6	5	4	2,5	5	4	4	7	4	3	5	4,62	1,58	7,77	1,46	34%
3	1	4	4	5	3	3	2	1	2	3	2	3	2	1	6	3	3	2	1	1	2	2,35	1,22	4,80	0,00	52%
4	5	2	4	1	5	7	9	9	6	8	9	7	8	6	8	9	8	9	8	6	8	7,65	1,27	10,00	5,10	17%
5	2	2	2	3	3	2	3	2	4	2	3	3	3	2	2	2	1	4	2	2	3	2,53	0,80	4,13	0,93	32%
6	1	2	4	1	2	3	4	2	3	3	4	5	3	2	1	3	3	2	3	2	4	2,88	0,99	4,87	0,90	34%
7	2	4	2	1	4	4	5	3	5	5	4	6	5	3	3	4	6	4	5	4	5	4,41	0,94	6,29	2,53	21%
8	3	2	4	3	4	8	5	3	5	5	5	6	4	3	5	5	5	6	4	4	6	4,88	1,22	7,32	2,44	25%
9	3	2	2	1	4	4	5	2	3	5	5	5	4	3	2	4	6	5	4	3	5	4,06	1,14	6,35	1,77	28%
10	5	4	2	5	8	4	8	6	8	8	6	5	6	8	10	6	8	9	8	5	8	7,12	1,62	10,00	3,89	23%
11	4	2	4	1	5	7	7	7	7	7	7	8	8	5	6	7	4	8	6	6	7	6,59	1,12	8,83	4,35	17%
12	1	4	2	3	4	3	2	1	4	3	3	3	2	2	3	2	3	3	2	3	4	2,76	0,83	4,43	1,10	30%
13	3	4	2	3	5	5	5	6	6	6	5	5	5	4	6	4	6	6	6	5	6	5,35	0,70	6,76	3,95	13%
14	4	4	2	5	7	6	6	7	7	8	5	4	5	5	9	7	6	7	5	5	6	6,18	1,29	8,75	3,60	21%
15	5	4	4	1	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9,94	0,24	10,00	9,46	2%
16	2	4	4	3	4	8	4	8	7	5	5	6	5	4	6	4	5	4	4	4	6	5,24	1,39	8,02	2,45	27%
17	5	2	2	3	4	4	8	3	3	8	7	7	5	3	7	6	8	9	6	4	8	5,88	2,06	10,00	1,77	35%
18	1	2	2	5	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,06	0,24	1,54	0,57	23%
19	2	4	2	1	4	6	5	3	5	5	4	6	5	3	3	4	6	4	5	4	6	4,59	1,06	6,72	2,46	23%
20	3	4	4	5	6	9	4	8	8	7	5	8	6	4	9	6	6	5	6	5	7	6,41	1,58	9,58	3,24	25%

Tabla D-3: Resultados encuesta IP. Primera Iteración

ESC	ICP	VH	RS	IE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	IP Media	SD	L Sup	L Inf	C Var.
1	2	2	4	5	3	3	2	1	4	3	2	3	2	1		3	1	3	2	1	3	2,31	0,95	4,21	0,42	41%
2	4	2	2	3	4	6	6		5	7	6	5	4	2,5		4	4	7	4	3	5	4,83	1,36	7,55	2,12	28%
3	1	4	4	5	3	3	2	1	2	3	2	3	2	1		3	3	2	1	1	2	2,13	0,81	3,74	0,51	38%
4	5	2	4	1		7	9	9	6	8	9	7	8	6		9	8	9	8	6	8	7,80	1,15	10,00	5,51	15%
5	2	2	2	3	3	2	3	2	4	2	3	3	3	2		2	1	4	2	2	3	2,56	0,81	4,19	0,93	32%
6	1	2	4	1	2	3	4	2	3	3	4		3	2		3	3	2	3	2	4	2,87	0,74	4,35	1,38	26%
7	2	4	2	1	4	4	5	3	5	5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	5	4,50	0,89	6,29	2,71	20%
8	3	2	4	3	4		5	3	5	5	5	6	4	3		5	5	6	4	4	6	4,67	0,98	6,62	2,71	21%
9	3	2	2	1	4	4	5	2	3	5	5	5	4	3		4	6	5	4	3	5	4,19	1,05	6,28	2,09	25%
10	5	4	2	5	8	4	8	6	8	8	6	5	6	8		6	8	9	8	5	8	6,94	1,48	9,90	3,97	21%
11	4	2	4	1	5	7	7	7	7	7	7	8	8	5		7		8	6	6	7	6,80	0,94	8,68	4,92	14%
12	1	4	2	3	4	3	2		4	3	3	3	2	2		2	3	3	2	3	4	2,87	0,74	4,35	1,38	26%
13	3	4	2	3	5	5	5	6	6	6	5	5	5	4		4	6	6	6	5	6	5,31	0,70	6,72	3,90	13%
14	4	4	2	5	7	6	6	7	7	8	5	4	5	5		7	6	7	5	5	6	6,00	1,10	8,19	3,81	18%
15	5	4	4	1	10	10	10	10		10	10	10	10	10		10	10	10	10	10	10	10,00	0,00	10,00	10,00	0%
16	2	4	4	3	4	8	4	8	7	5	5	6	5	4		4	5	4	4	4	6	5,19	1,42	8,04	2,34	27%
17	5	2	2	3	4	4	8	3	3	8	7	7	5	3		6	8	9	6	4	8	5,81	2,10	10,00	1,60	36%
18	1	2	2	5	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	1,00	1,00	0%
19	2	4	2	1	4	6	5	3	5	5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	6	4,69	1,01	6,72	2,66	22%
20	3	4	4	5	6	9	4	8	8	7	5	8	6	4		6	6	5	6	5	7	6,25	1,48	9,22	3,28	24%

Tabla D-4: Resultados encuesta IP. Segunda Iteración

ESC	ICP	VH	RS	IE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	IP Media	SD	L Sup	L Inf	C Var.
1	2	2	4	5	3	3	2		4	3	2	3	2	1		3	1	3	2	1	3	2,40	0,91	4,22	0,58	38%
2	4	2	2	3	4	6	6		5	7	6	5	4	2,5		4	4	7	4	3	5	4,83	1,36	7,55	2,12	28%
3	1	4	4	5	3	3	2		2	3	2	3	2	1		3	3	2	1	1	2	2,20	0,77	3,75	0,65	35%
4	5	2	4	1		7	9		6	8	9	7	8	6		9	8	9	8	6	8	7,71	1,14	9,99	5,44	15%
5	2	2	2	3	3	2	3		4	2	3	3	3	2		2	1	4	2	2	3	2,60	0,83	4,26	0,94	32%
6	1	2	4	1	2	3	4		3	3	4		3	2		3	3	2	3	2	4	2,93	0,73	4,39	1,47	25%
7	2	4	2	1	4	4	5		5	5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	5	4,60	0,83	6,26	2,94	18%
8	3	2	4	3	4		5		5	5	5	6	4	3		5	5	6	4	4	6	4,79	0,89	6,57	3,00	19%
9	3	2	2	1	4	4	5		3	5	5	5	4	3		4	6	5	4	3	5	4,33	0,90	6,13	2,53	21%
10	5	4	2	5	8	4	8		8	8	6	5	6	8		6	8	9	8	5	8	7,00	1,51	10,00	3,98	22%
11	4	2	4	1	5	7	7		7	7	7	8	8	5		7		8	6	6	7	6,79	0,97	8,74	4,84	14%
12	1	4	2	3	4	3	2		4	3	3	3	2	2		2	3	3	2	3	4	2,87	0,74	4,35	1,38	26%
13	3	4	2	3	5	5	5		6	6	5	5	5	4		4	6	6	6	5	6	5,27	0,70	6,67	3,86	13%
14	4	4	2	5	7	6	6		7	8	5	4	5	5		7	6	7	5	5	6	5,93	1,10	8,13	3,73	19%
15	5	4	4	1	10	10	10			10	10	10	10	10		10	10	10	10	10	10	10,00	0,00	10,00	10,00	0%
16	2	4	4	3	4	8	4		7	5	5	6	5	4		4	5	4	4	4	6	5,00	1,25	7,51	2,49	25%
17	5	2	2	3	4	4	8		3	8	7	7	5	3		6	8	9	6	4	8	6,00	2,04	10,00	1,93	34%
18	1	2	2	5	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	1,00	1,00	0%
19	2	4	2	1	4	6	5		5	5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	6	4,80	0,94	6,68	2,92	20%
20	3	4	4	5	6	9	4		8	7	5	8	6	4		6	6	5	6	5	7	6,13	1,46	9,05	3,22	24%

Tabla D-5: Resultados encuesta IP. Tercera Iteración

ESC	ICP	VH	RS	IE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	IP Media	SD	L Sup	L Inf	C Var.
1	2	2	4	5	3	3	2		4	3	2	3	2	1		3	1	3	2	1	3	2,40	0,91	4,22	0,58	38%
2	4	2	2	3	4	6	6		5	7	6	5	4	2,5		4	4	7	4	3	5	4,83	1,36	7,55	2,12	28%
3	1	4	4	5	3	3	2		2	3	2	3	2	1		3	3	2	1	1	2	2,20	0,77	3,75	0,65	35%
4	5	2	4	1		7	9		6	8	9	7	8	6		9	8	9	8	6	8	7,71	1,14	9,99	5,44	15%
5	2	2	2	3	3	2	3		4	2	3	3	3	2		2	1	4	2	2	3	2,60	0,83	4,26	0,94	32%
6	1	2	4	1	2	3	4		3	3	4		3	2		3	3	2	3	2	4	2,93	0,73	4,39	1,47	25%
7	2	4	2	1	4	4	5		5	5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	5	4,60	0,83	6,26	2,94	18%
8	3	2	4	3	4		5		5	5	5	6	4			5	5	6	4	4	6	4,92	0,76	6,44	3,40	15%
9	3	2	2	1	4	4	5		3	5	5	5	4	3		4	6	5	4	3	5	4,33	0,90	6,13	2,53	21%
10	5	4	2	5	8	4	8		8	8	6	5	6	8		6	8	9	8	5	8	7,00	1,51	10,00	3,98	22%
11	4	2	4	1	5	7	7		7	7	7	8	8	5		7		8	6	6	7	6,79	0,97	8,74	4,84	14%
12	1	4	2	3	4	3	2		4	3	3	3	2	2		2	3	3	2	3	4	2,87	0,74	4,35	1,38	26%
13	3	4	2	3	5	5	5		6	6	5	5	5	4		4	6	6	6	5	6	5,27	0,70	6,67	3,86	13%
14	4	4	2	5	7	6	6		7	8	5	4	5	5		7	6	7	5	5	6	5,93	1,10	8,13	3,73	19%
15	5	4	4	1	10	10	10			10	10	10	10	10		10	10	10	10	10	10	10,00	0,00	10,00	10,00	0%
16	2	4	4	3	4		4		7	5	5	6	5	4		4	5	4	4	4	6	4,79	0,97	6,74	2,84	20%
17	5	2	2	3	4	4	8		3	8	7	7	5	3		6	8	9	6	4	8	6,00	2,04	10,00	1,93	34%
18	1	2	2	5	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	1,00	1,00	0%
19	2	4	2	1	4	6	5		5	5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	6	4,80	0,94	6,68	2,92	20%
20	3	4	4	5	6	9	4		8	7	5	8	6	4		6	6	5	6	5	7	6,13	1,46	9,05	3,22	24%

Tabla D-6: Resultados encuesta IP. Cuarta Iteración

ESC	ICP	VH	RS	IE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Media IP	SD	L Sup	L Inf	C Var.
1	2	2	4	5	3	3	2			3	2	3	2	1		3	1	3	2	1	3	2,29	0,83	3,94	0,63	36%
2	4	2	2	3	4	6	6			7	6	5	4	2,5		4	4	7	4	3	5	4,82	1,41	7,64	2,00	29%
3	1	4	4	5	3	3	2			3	2	3	2	1		3	3	2	1	1	2	2,21	0,80	3,82	0,61	36%
4	5	2	4	1		7	9			8	9	7	8	6		9	8	9	8	6	8	7,85	1,07	9,98	5,71	14%
5	2	2	2	3	3	2	3			2	3	3	3	2		2	1	4	2	2	3	2,50	0,76	4,02	0,98	30%
6	1	2	4	1	2	3	4			3	4		3	2		3	3	2	3	2	4	2,92	0,76	4,44	1,40	26%
7	2	4	2	1	4	4	5			5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	5	4,57	0,85	6,27	2,87	19%
8	3	2	4	3	4		5			5	5	6	4			5	5	6	4	4	6	4,92	0,79	6,50	3,33	16%
9	3	2	2	1	4	4	5			5	5	5	4	3		4	6	5	4	3	5	4,43	0,85	6,13	2,73	19%
10	5	4	2	5	8	4	8			8	6	5	6	8		6	8	9	8	5	8	6,93	1,54	10,00	3,84	22%
11	4	2	4	1	5	7	7			7	7	8	8	5		7		8	6	6	7	6,77	1,01	8,79	4,74	15%
12	1	4	2	3	4	3	2			3	3	3	2	2		2	3	3	2	3	4	2,79	0,70	4,18	1,39	25%
13	3	4	2	3	5	5	5			6	5	5	5	4		4	6	6	6	5	6	5,21	0,70	6,61	3,82	13%
14	4	4	2	5	7	6	6			8	5	4	5	5		7	6	7	5	5	6	5,86	1,10	8,06	3,66	19%
15	5	4	4	1	10	10	10			10	10	10	10	10		10	10	10	10	10	10	10,00	0,00	10,00	10,00	0%
16	2	4	4	3	4		4			5	5	6	5	4		4	5	4	4	4	6	4,62	0,77	6,15	3,08	17%
17	5	2	2	3	4	4	8			8	7	7	5	3		6	8	9	6	4	8	6,21	1,93	10,00	2,36	31%
18	1	2	2	5	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	1,00	1,00	0%
19	2	4	2	1	4	6	5			5	4	6	5	3		4	6	4	5	4	6	4,79	0,97	6,74	2,84	20%
20	3	4	4	5	6	9	4			7	5	8	6	4		6	6	5	6	5	7	6,00	1,41	8,83	3,17	24%

## D.2 Análisis de Regresión

Las iteraciones realizadas llevaron a la exclusión de 3 encuestados. Con los resultados depurados se obtuvo la siguiente ecuación de regresión:

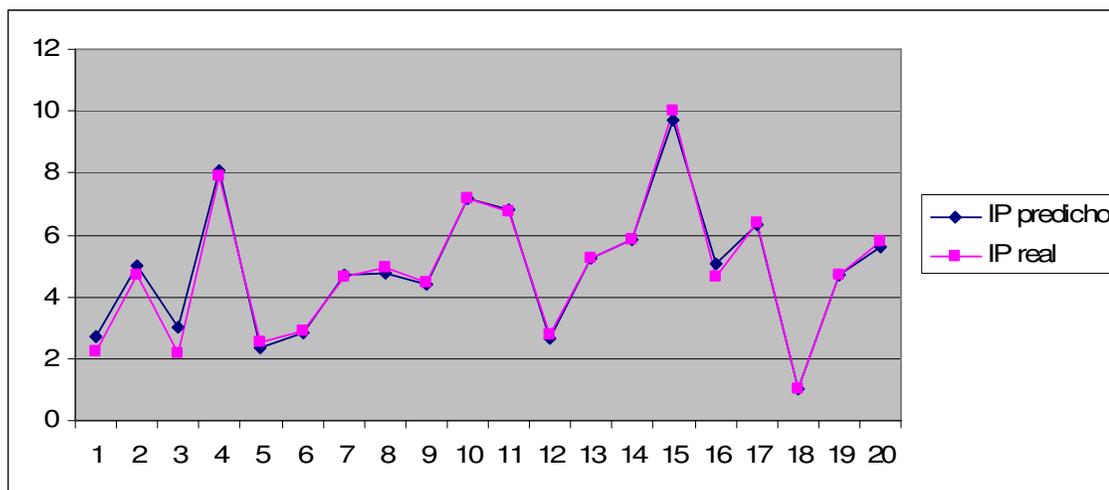
$$\text{IP} = -1,411 + 1,299 \cdot \text{ICP} + 0,754 \cdot \text{VH} + 0,458 \cdot \text{RS} - 0,387 \cdot \text{IE} \quad (\text{EC. D.1})$$

Los estadísticos de la correlación se observan en la siguiente tabla:

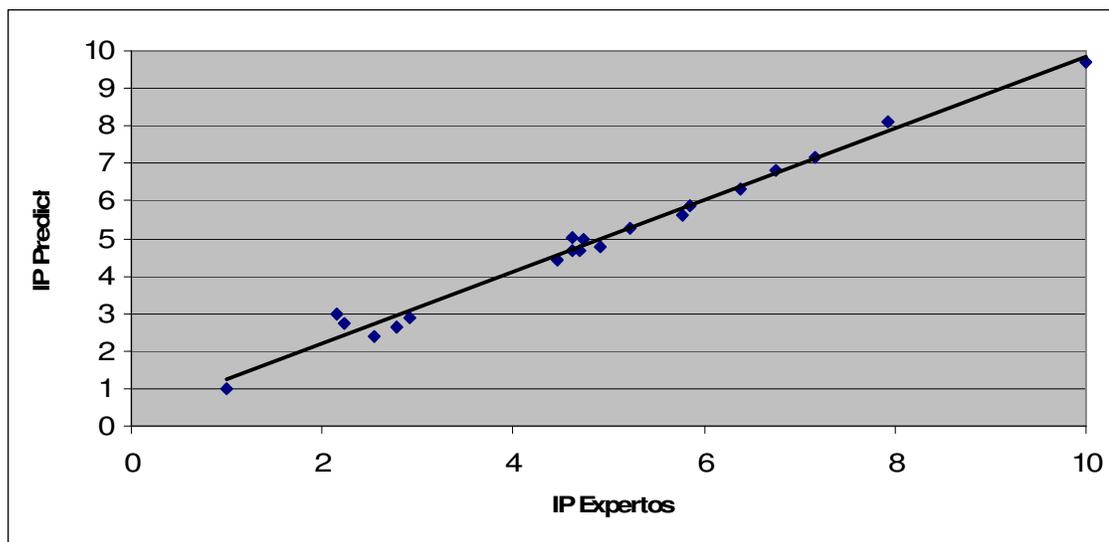
**Tabla D-7: Estadísticos de la correlación**

Estadísticos de la Regresión	
Coefficiente de correlación R2	98,08%
Error Típico	3,39%
Durbin-Watson	1,76

Los gráficos de IP predicho VS IP Media de expertos por escenario y en la escala de los resultados se observan a continuación:



**Figura D-1: IP Predicho VS IP Real por escenario**



**Figura D-2: IP Predicho VS IP Real**

El análisis de la significancia de la regresión y de cada variable se observa en las siguientes tablas:

**Tabla D-8: Análisis de la ecuación como un todo (ANOVA)**

	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico
<b>Regresión</b>	4	57,8	14,45	360,49896	0.00
<b>Residuos</b>	12	0,481	0,04		
<b>Total</b>	16				

**Tabla D-9: Análisis de la significancia de cada variable independiente**

Variables	Coefficientes	Error Típico de los	Estadístico t	Probabilidad
<b>Constante</b>	-1,826	0,2656	-6,87	0,00
<b>ICP</b>	1,31	0,03778	34,68	0,00
<b>VH</b>	0,794	0,05315	14,94	0,00
<b>RS</b>	0,538	0,05108	10,55	0,00
<b>IE</b>	-0,361	0,03705	-9,76	0,00

Los Figura D-3 muestra el efecto de cada variable en la variable dependiente al dejar fijo y en un valor medio las otras variables.

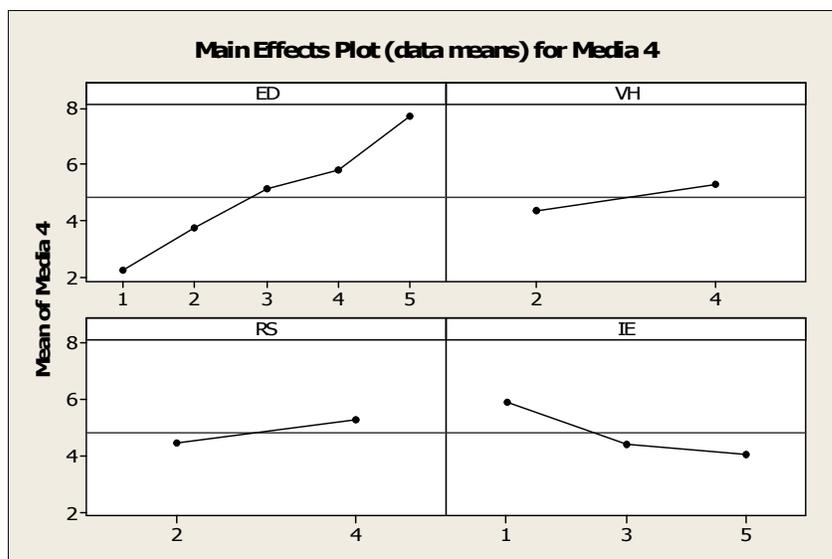


Figura D-3: Efecto independiente de cada variable

### D.3 Análisis de los residuos

Los residuos de la regresión se observan en la Figura D-4:

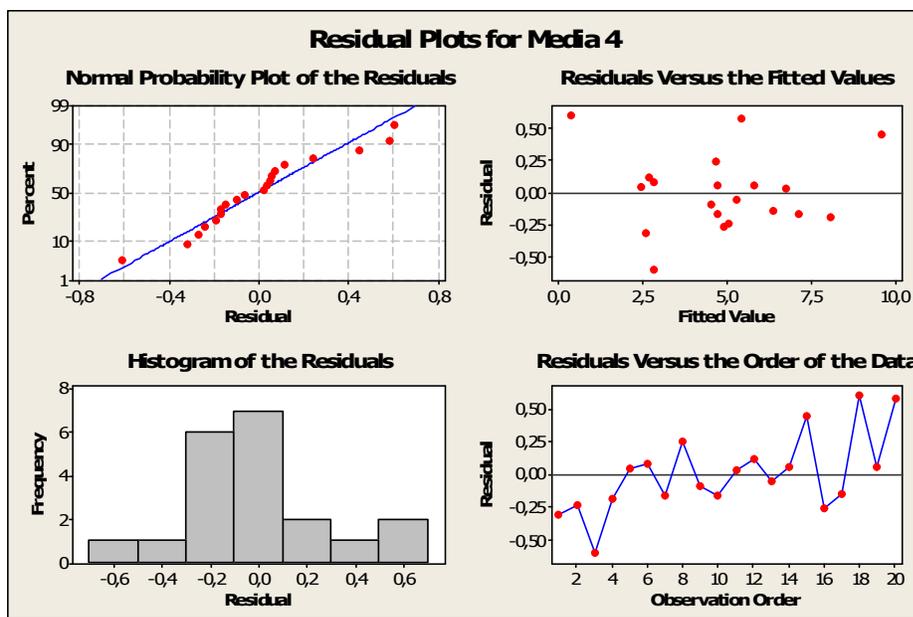


Figura D-4: Residuos de la regresión

- h. El primer gráfico: Probabilidad normal de los residuos demuestra que su comportamiento se asemeja a una distribución normal. Supuesto básico para poder asumir una relación lineal entre los predictores y la variable dependiente.
- i. El segundo gráfico: histograma de los residuos refuerza la distribución normal de los residuos. La forma del gráfico asemeja a una campana normal concentrada en el centro.
- j. El tercer gráfico: residuos versus resultados ajustados muestra un patrón aleatorio de los residuos. Esto demuestra que los residuos tienen una varianza constante. Otro de los supuestos necesarios para la regresión lineal.
- k. El último gráfico: residuos vs orden de los datos sirve para determinar la independencia de los residuos y a través de ellos determinar la independencia de las variables de la regresión. Los residuos distribuyen a ambos lados del cero ratificando la independencia de las variables obtenida a través de Durbin-Watson, validando el tipo de regresión usado.

#### **D.4 Escenarios Anómalos**

El análisis de los escenarios entregó dos puntos anómalos: el escenario 3 y 18. Entregaron residuos estandarizados mayores a 1 (-2,16 y 2). Ambos escenarios corresponden a los menores índices combinados (IP Media 0,36 y 2,21), lo que refleja un ajuste deficiente de la curva predictora en la parte más baja de la escala. Esto se debe a que la predicción comienza en 0 y no de 1 como los datos reales produciéndose distorsiones en los menores valores. Al eliminar estos escenarios el problema persistió

en la misma zona cambiando los escenarios anómalos. La solución propuesta consiste en obligar a la curva predictora a otorgar un  $IP = 1$  cuando el valor sea menor a éste.

## **ANEXO E. ANÁLISIS PARA RECOMENDACIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN**

### **E.1 Resultados Obtenidos**

Para la asignación de acciones de conservación se utilizaron los resultados de las recomendaciones entregadas por los expertos en la encuesta para determinación del Índice combinado de Puentes. Los resultados fueron almacenados y ordenados para luego analizar la variación de las recomendaciones al variar el índice combinado. Una vez definidas las posibles acciones en cada grupo de IP, se evaluó el efecto de las variables independientes que lo componen en la asignación de acciones de conservación.

Los resultados obtenidos se observan en la Tabla E-1. A partir de estos resultados se realizó el análisis presentado en las tablas G-2 a G-11. A partir de estos resultados se obtuvo la diferenciación que genera cada variable en las acciones de conservación asignadas por escenario.

Tabla E-1: Acciones de conservación por escenario

ESC	ICP	VH	RS	IE	IP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	
1	2	2	4	5	2,29	RC	LM	RP	RC	RF	RF	RC	LC EA	EA RC	RC	LC EA	RF	LC RC	RP	RF	RF EA	
2	4	2	2	3	4,82	RC	RF	MR	RF	RP	EA	MR RF	EA	EA RC	EA	EA	MR	MR RP	RF	EA RP	MR EA	
3	1	4	4	5	2,21	RC	LM	RP	RC	EA	RP	RC	RP	RF	RC	RP	RP	LC RC	RP	RP EA	RC	
4	5	2	4	1	7,85	EA	RF	MR	RF	RP	MR	MR	MR	RP	RP	MR	MR	MR	MR	NH	MR	
5	2	2	2	3	2,50	RC	EA	RF	RP	RP	RF	RF	LC EA	RF	EA RC	LC EA	RF	LC RF	RP	RC	RF EA	
6	1	2	4	1	2,92	RC	LC	RP	RF	MR	RF	RP	LC EA	EA RC	EA RF	LC EA	RF	LC RC	RP	RF	RP	
7	2	4	2	1	4,57	RP	EA	RP	RP	RP	RP	MR	EA RC	EA RP	EA RF	EA RC	RP	LC RF	EA	RP	RP	
8	3	2	4	3	4,92	RC	RF	RP	RF	RP	RP	EA RP	RP	RP	RF	RP	RP RF	RF	RP	EA RP	RP EA	
9	3	2	2	1	4,43	RC	RF	RP	RF	MR	RP	EA	RP	RP	RP EA	RP	RP	LC RF	RP	EA LC	RP EA	
10	5	4	2	5	6,93	EA	EA	MR	RF	EA	MR	MR RF	EA	RP	MR	EA	EA	MR	NH	EA	MR	
11	4	2	4	1	6,77	EA	RF	MR	RF	RP	MR	MR	MR	RP	EA RP	MR	MR	MR	MR	MR EA	MR EA	
12	1	4	2	3	2,79	RC	LC	RF	RC	RF	RC	RF	RF EA	EA RF	LC RF	RF EA	RF	RF	RF	RP	RP RF	
13	3	4	2	3	5,21	RF	RF	RP	EA	RF	RP	EA RP	RF EA	EA RP	EA LC	RF EA	RP	RP	RP	EA RP	MR RP	
14	4	4	2	5	5,86	EA	RP	MR	RF	LC	MR EA	EA RP	MR	RP	RP	MR	RP	MR RP	RP	MR EA	EA RP	
15	5	4	4	1	10,00	NH	NH	MR	NH	RF	NH	MR	MR	NH	MR	MR	MR	MR	MR	NH	NH	MR
16	2	4	4	3	4,62	RF	RP	RP	RP	LC	RP	RP	RP EA	RP	EA	RP EA	RP	LC RP	EA	MR RP	LC RP	
17	5	2	2	3	6,21	RC	EA	MR	RF	RP	EA	EA MR	MR EA	EA	LC EA	MR EA	MR EA	MR	EA	EA RF	MR EA	
18	1	2	2	5	1,00	RC	LC	RF	RC	RP	LC RC	RC	RC	EA	RC							
19	2	4	2	1	4,79	RP	RF	RP	RP	RP	RP	RP	RF	RP	LC EA	RF	RP	LC RF	EA	RP	RP	
20	3	4	4	5	6,00	RP	RP	RP	MR	EA	RP	EA RF	RP	RP	EA	MR EA	RP	RF	RP EA	EA RP	RP	

RC	Reconstrucción
RF	Refuerzo
RP	Reparación
EA	Estudios Adicionales
LM	Limitación paso o carga
MR	Mantenimiento Rutinario
NH	No hacer nada

Tabla E-2: Acciones de conservación según IP

IP	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH	
2	12	1	1	1	3	0	0	18
4	21	31	18	18	18	1	0	107
6	7	26	70	49	10	21	0	183
8	0	7	17	18	0	27	2	71
10	0	1	0	0	0	8	7	16
	40	66	106	86	31	57	9	

Tabla E-3: Acciones de conservación según IP (%)

IP	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH	
2	67%	6%	6%	6%	17%	0%	0%	
4	20%	29%	17%	17%	17%	1%	0%	
6	4%	14%	38%	27%	5%	11%	0%	
8	0%	10%	24%	25%	0%	38%	3%	
10	0%	6%	0%	0%	0%	50%	44%	

Tabla E-4: Acciones de conservación según ICP

ICP	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH	
1	24	20	14	10	9	1	0	78
2	11	19	36	21	13	2	0	102
3	2	13	38	20	2	3	0	78
4	2	7	13	16	1	21	0	60
5	1	7	5	19	1	30	9	72
	40	66	106	86	26	57	9	

Tabla E-5: Acciones de conservación según ICP (%)

ICP	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH	
1	31%	26%	18%	13%	12%	1%	0%	
2	11%	19%	35%	21%	13%	2%	0%	
3	3%	17%	49%	26%	3%	4%	0%	
4	3%	12%	22%	27%	2%	35%	0%	
5	1%	10%	7%	26%	1%	42%	13%	

Tabla E-6: Acciones de conservación según VH

VH	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH	
2	29	36	28	44	22	32	1	192
4	11	30	68	42	13	25	8	197
	40	66	96	86	35	57	9	

Tabla E-7: Acciones de conservación según VH (%)

VH	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH
2	15%	19%	15%	23%	11%	17%	1%
4	6%	15%	35%	21%	7%	13%	4%

Tabla E-8: Acciones de conservación según RS

RS	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH	
2	24	43	54	58	20	26	1	226
4	15	23	52	28	13	22	8	161
	39	66	106	86	33	48	9	

Tabla E-9: Acciones de conservación según RS (%)

RS	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH
2	11%	19%	24%	26%	9%	12%	0%
4	9%	14%	32%	17%	8%	14%	5%

Tabla E-10 Acciones de conservación según IE

IE	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH	
1	6	20	37	21	8	29	8	129
3	7	35	40	40	10	14	0	146
5	24	11	29	25	8	14	1	112
	37	66	106	86	26	57	9	

Tabla E-11: Acciones de conservación según IE (%)

IE	RC	RF	RP	EA	LM	MR	NH
1	5%	16%	29%	16%	6%	22%	6%
3	5%	24%	27%	27%	7%	10%	0%
5	21%	10%	26%	22%	7%	13%	1%

## E.2 Análisis de los resultados

De las tablas se puede inferir que:

a. La distribución de acciones de conservación de acuerdo al IP está dado por:

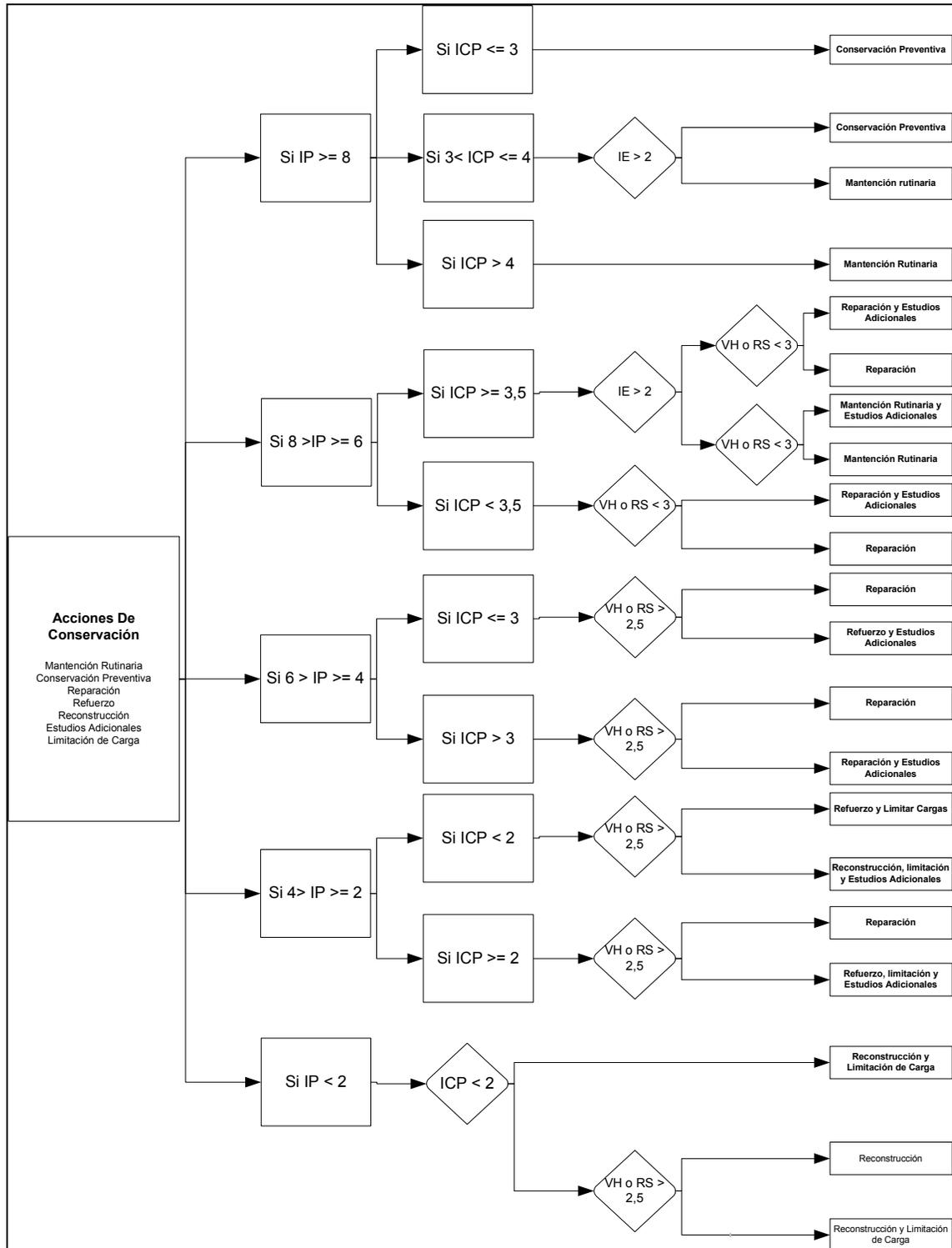
- i.  $IP > 8$ . Se recomienda mantención rutinaria (50%) y no hacer nada (44%).
  - ii.  $8 > IP > 6$ . Se recomienda mantención rutinaria (38%), estudios adicionales (25%), reparar (24%) y reforzar (10%).
  - iii.  $6 > IP > 4$ . Se recomienda mantención rutinaria (11%), estudios adicionales (27%), reparar (38%) y reforzar (14%).
  - iv.  $4 > IP > 2$ . Se recomienda limitación de carga (17%), estudios adicionales (17%), reparar (17%) y reforzar (29%) y reconstruir (20%).
  - v.  $2 > IP$ . Se recomienda limitación de carga (17%), estudios adicionales (6%), reparar (6%) y reforzar (6%) y reconstruir (67%).
- b. El Índice de Condición del Puente (ICP) define el grado de severidad de la acción ante IP similares. Por ejemplo, para dos puentes de similar IP y otras características, pero donde el ICP es considerablemente menor en uno caso que el otro, en el primer caso se recomienda reforzar y en el otro solo reparar. En un 31% de los casos en que el ICP es 1 se recomienda reconstruir, mientras que cuando es 2, en el 35% se recomienda reparar.
- c. La Vulnerabilidad Hidráulica y Riesgo Sísmico se asocian a incertidumbre sobre la estructura y a un deterioro futuro mayor. Las acciones de estudios adicionales y limitación de carga son activadas por estas variables. Ante condiciones similares cuando cualquiera de estos dos factores de incertidumbre futura son altos se duplican las recomendaciones de estudios adicionales y limitación de carga (67%-33% EA, 61%-39% LC).
- d. La Importancia Estratégica al igual que el ICP permite diferenciar entre acciones de diferente profundidad como conservación preventiva y mantención rutinaria.

e. Adicionalmente, no se recomienda la acción no hacer nada, ya que la mantención rutinaria es necesaria para mantener controladas las tasas de crecimiento de los deterioros.

f. No se recomienda aplicar solamente mantención rutinaria cuando el Índice combinado del Puente es menor a 6 debido a que se asocia a un grado medio o mayor de daño.

### **E.3 Asignación de acciones**

La asignación de acciones se observa en la Figura E-1



**Figura E-1: Recomendaciones de conservación**

## ANEXO F. DESARROLLO ÍNDICE IMPORTANCIA ESTRATÉGICA

### F.1 Ronda de reuniones técnicas

Para determinar los elementos a incluir en el Índice de Importancia Estratégica se realizó una serie de reuniones técnicas con 20 profesionales del área de infraestructura, evaluación de proyectos, construcción, conservación vial e hidráulica. Dentro de las reuniones se les consultó qué elementos incluirían para cuantificar la importancia de un puente. La siguiente tabla resume las respuestas obtenidas:

**Tabla F-1: Factores a considerar en Importancia Estratégica**

N°	Factor	N° de Respuestas
1	Tránsito	20
2	Alternativas Existentes	15
3	Largo del Puente	10
4	Estándar de la Estructura	9
5	Valor de las Cargas	9
6	Tiempo Ahorrado	8
7	Actividad Socioeconómica	8
8	N° de Pistas - Ancho	6
9	Restricciones a Vehículos Pesados	6
10	Categoría del Camino	5
11	Importancia Política del Camino	5
12	Nivel del Camino	4
13	Población conectada	3
14	Vida Remanente	2
15	Accidentes Ocurridos	1

De los factores incluidos en la tabla se eliminaron los que no se podían cuantificar con la información disponible y los que tuvieron menos de cinco preferencias. A la vez se encontró similitud entre algunos factores como valor de las cargas y entorno socioeconómico dejando solamente el segundo debido a una mayor facilidad para cuantificarlo.

## F.2 Encuesta Piloto

A partir de este análisis se confeccionó la encuesta piloto de importancia estratégica la que se puede observar a continuación.

TM-07	Sistema de Gestión de Puentes	REV 1
	Encuesta Importancia Estratégica e Índice Global de Puentes	FECHA 30.04.08
<b>DATOS PERSONALES</b>		
Nombre: _____		
Institución: _____		
Profesión: _____		
Fecha de llenado encuesta _____		
<b>1 IMPORTANCIA ESTRATEGICA</b>		
La Importancia Estratégica se define como la importancia de un puente dentro de la red vial en que se encuentra de acuerdo a sus características y a las características de la red en el sistema vial. Este elemento permite priorizar inversiones cuando se tienen variadas estructuras en condiciones similares de deterioro.		
<b>1.1 PESO DE LOS FACTORES QUE COMPONEN LA IMPORTANCIA ESTRATEGICA</b>		
A continuación usted encontrará un listado con los factores que determinan la importancia de un puente de acuerdo a estudios existentes y la opinión de expertos. Por favor asignar a cada factor una puntuación de 0 a 100, donde 0 indica nula importancia dentro del índice y 100 importancia máxima.		
<b>1. Existencia de alternativas</b>		
Se considera más importante un puente que carece de rutas alternativas o las existentes implican un aumento significativo en el tiempo de viaje o la serviciabilidad de estas rutas es menor a la del camino original donde se encuentra el puente.		
<b>2. Tránsito</b>		
Se considera más importante a un puente con mayor nivel de tránsito debido a que los costos de usuario a nivel agregado dependen directamente del tránsito sobre la estructura. Se mide a través del TMDA.		
<b>3. Ancho del puente</b>		
Se considera más importante a un puente con más pistas y cuyas pistas tienen un ancho que permiten un paso fluido de vehículos pesados.		
<b>4. Largo del puente</b>		
Se considera más importante un puente de mayor longitud debido a su mayor costo y dificultad de reconstrucción.		
<b>5. Restricciones de peso</b>		
Se considera más importante un puente que esté exento de limitaciones al paso de vehículos pesados.		
<b>6. Entorno socioeconómico</b>		
Depende de las características del tránsito del camino en que se encuentra el puente de acuerdo a la producción de la zona. Si el puente se encuentra en una ruta por la que transitan los principales productos de una región se considera de mayor importancia que uno por el que no circulan este tipo de productos.		
<b>1.2 OTROS ELEMENTOS Y COMENTARIOS</b>		
7. _____		
8. _____		
Comentarios:		

Figura 0-1: Encuesta Piloto de Importancia Estratégica

La encuesta fue entregada a 4 personas obteniéndose 3 respuestas. Los resultados se observan en la siguiente tabla:

**Tabla F-1: Resultados Encuesta Piloto Importancia Estratégica**

Factor	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	Desviación	Lim sup	Lim inf	Coef Var
Alternativas	10	10	8	<b>9,3</b>	1,2	10	7,0	0,12
Tránsito	9	8	10	<b>9,0</b>	1,0	10	7,0	0,11
Ancho	2	3	2	<b>2,3</b>	0,6	3,5	1,2	0,25
Largo	5	4	2	<b>3,7</b>	1,5	6,7	0,6	0,42
Restricciones peso	2	1	2	<b>1,7</b>	0,6	2,8	0,5	0,35
Entorno socioeconómico	9	5	7	<b>7,0</b>	2,0	10	3,0	0,29

Los resultados muestran convergencia, coeficiente de variación menor a 50% en todos los factores. Se obtuvo la siguiente ecuación:

$$IE = 0,283 * Ae + 0,273 * TMDA + 0,212 * Ese + 0,07 * An + 0,111 * L + 0,05 * R \quad \text{(EC A.1)}$$

En la ecuación se observa que dentro del índice un 80% está compuesto por los resultados de la valoración de las Alternativas Existentes, Tránsito (TMDA) y Entorno SocioEconómico de la estructura. Como conclusiones de la encuesta piloto se obtuvo la necesidad de realizar mejoras al formato de la encuesta, ampliar el horizonte de expertos y mejorar las explicaciones de cada factor para facilitar el trabajo de los expertos.

En la ecuación se observa que dentro del índice un 80% está compuesto por los resultados de la valoración de las Alternativas Existentes, Tránsito (TMDA) y Entorno SocioEconómico de la estructura. Como conclusiones de la encuesta piloto se obtuvo la necesidad de realizar mejoras al formato de la encuesta, ampliar el horizonte de expertos y mejorar las explicaciones de cada factor para facilitar el trabajo de los expertos.

### F.3 Encuesta Definitiva

De acuerdo a los resultados de la Encuesta Piloto se elaboró la siguiente encuesta para la ponderación de los factores que componen la Importancia Estratégica:

#### **1. Importancia Estratégica**

**La Importancia Estratégica se define como la importancia de un puente dentro de la red vial en que se encuentra de acuerdo a sus características físicas y su ubicación dentro de la red vial.** Este índice permite priorizar inversiones cuando se tienen variadas estructuras en condiciones similares de deterioro.

Los componentes que se han considerado dentro del Índice de Importancia Estratégica son:

- Existencia de rutas Alternativas.
- Tránsito.
- Entorno Socioeconómico.
- Ancho del puente.
- Largo del puente.
- Restricciones de peso.

#### **1.1. Instrucciones de respuesta**

En la siguiente sección usted encontrará el listado de los elementos enunciados previamente junto a una breve definición de cada uno de ellos. Estos elementos han sido determinados en base a una primera ronda de entrevistas con expertos y prácticas internacionales. Por favor asignar a cada factor una puntuación de 0 a 10, donde 0 indica nula importancia dentro del índice y 10 importancia máxima.

<b>1.2. Formulario de respuesta</b>	
<b>Componente</b>	<b>Puntuación</b>
<b>Existencia de Rutas Alternativas</b> Se considera más importante un puente que carece de rutas alternativas o cuyas alternativas implican un aumento significativo en el tiempo de viaje y entregan una serviciabilidad menor a la del camino original.	
<b>Tránsito</b> Se considera más importante un puente con mayor tránsito (TMDA) debido al impacto en más usuarios y un mayor costo social ante una falla o deterioro de la estructura.	
<b>Entorno socioeconómico</b> Se considera más importante un puente inserto en una vía por la que transitan los principales productos económicos de una región que otro en una vía de menor impacto.	
<b>Ancho del puente</b> Se considera más importante un puente más ancho, por mayor número de pistas y porque el ancho de las pistas permite el paso normal de vehículos pesados.	
<b>Largo del Puente</b> Se considera más importante un puente de mayor longitud total debido a su costo y dificultad de reconstrucción o de sortear el obstáculo con otro método.	
<b>Restricciones de peso</b> Se considera más importante un puente que está exento de limitaciones al paso de vehículos pesados a uno que si las posee.	

#### F.4 Resultados Obtenidos Encuesta Definitiva

Los resultados obtenidos se observan en la siguiente tabla:

**Tabla F-2: Resultados Encuesta Piloto Importancia Estratégica**

Experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Promedio	Desv	LS	LI	Coef Var	
<b>Factor</b>																							
Alternativas	10	9	10	10	8	10		10	10	10	9	8	9	10	10	9	9	9,44	0,727	10,892	7,9826		8%
Tránsito	8	5	8	10	9	8		8	8	9	8	10	7	10	7	5	10	8,13	1,586	11,298	4,9522		20%
E. Socioeconomico	6	6	9	8	10	9		8	9	9	8	6	9	6	5	5	4	7,31	1,852	11,016	3,6089		25%
Ancho	4	4	4	5	7	1		5	3	2	6	5	5	2	1	6	1	3,81	1,940	7,692	-0,067		51%
Largo	5	4	5	7	5	6		6	6	5	3	3	6	6	4	8	5	5,25	1,342	7,933	2,5667		26%
Restricciones	4	1	6	4	10	4		5	3	2	5	9	2	2	8	5	3	4,56	2,607	9,776	-0,651		57%
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>42</b>	<b>44</b>	<b>49</b>	<b>38</b>	<b>0</b>	<b>42</b>	<b>39</b>	<b>37</b>	<b>39</b>	<b>41</b>	<b>38</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	<b>32</b>						

Estos resultados fueron pasados a porcentaje de preponderancia de cada factor en la opinión de cada experto para poder agrupar sus preferencias sin importar que un experto haya otorgado en total más puntos que otro. Se establecieron los siguientes límites de variación:

Límite Superior: Valor Promedio + 2 Desviaciones Estándar.

Límite Inferior: Valor Promedio - 2 Desviaciones Estándar.

De acuerdo a estos límites se fueron eliminando las respuestas que estaban fuera de ellos. Cuando una persona tuvo 2 o más respuestas eliminadas por estar fuera del rango aceptable se eliminó su respuesta completa. Las iteraciones realizadas se observan en las siguientes tablas:

**Tabla F-3: Iteración 1 Análisis de Encuesta Importancia Estratégica**

Experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Promedio	Desv	LS	LI	Coef Var	
<b>Factor</b>																							
Alternativas	0,270	0,310	0,238	0,227	0,163	0,263		0,238	0,256	0,270	0,231	0,195	0,237	0,278	0,286	0,237	0,281	0,249	0,036	0,321	0,1763		15%
Tránsito	0,216	0,172	0,190	0,227	0,184	0,211		0,190	0,205	0,243	0,205	0,244	0,184	0,278	0,200	0,132	0,313	0,212	0,043	0,298	0,1266		20%
E. Socioeconomico	0,162	0,207	0,214	0,182	0,204	0,237		0,190	0,231	0,243	0,205	0,146	0,237	0,167	0,143	0,132	0,125	0,189	0,039	0,268	0,1102		21%
Ancho	0,108	0,138	0,095	0,114	0,143	0,026		0,119	0,077	0,054	0,154	0,122	0,132	0,056	0,029	0,158	0,031	0,097	0,046	0,189	0,0057		47%
Largo	0,135	0,138	0,119	0,159	0,102	0,158		0,143	0,154	0,135	0,077	0,073	0,158	0,167	0,114	0,211	0,156	0,137	0,035	0,207	0,068		25%
Restricciones	0,108	0,034	0,143	0,091	0,204	0,105		0,119	0,077	0,054	0,128	0,220	0,053	0,056	0,229	0,132	0,094	0,115	0,060	0,234	-0,004		52%

**Tabla F-4: Iteración 2 Análisis de Encuesta Importancia Estratégica**

Experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	Promedio	Desv	LS	LI	Coef Var		
<b>Factor</b>																							
Alternativas	0,270	0,310	0,238	0,227		0,263		0,238	0,256	0,270	0,231	0,195	0,237	0,278	0,286	0,237	0,281	0,255	0,029	0,313	0,1962		11%
Tránsito	0,216	0,172	0,190	0,227	0,184	0,211		0,190	0,205	0,243	0,205	0,244	0,184	0,278	0,200	0,132		0,205	0,035	0,275	0,1364		17%
E. Socioeconomico	0,162	0,207	0,214	0,182	0,204	0,237		0,190	0,231	0,243	0,205	0,146	0,237	0,167	0,143	0,132	0,125	0,189	0,039	0,268	0,1102		21%
Ancho	0,108	0,138	0,095	0,114	0,143	0,026		0,119	0,077	0,054	0,154	0,122	0,132	0,056	0,029	0,158	0,031	0,097	0,046	0,189	0,0057		47%
Largo	0,135	0,138	0,119	0,159	0,102	0,158		0,143	0,154	0,135	0,077	0,073	0,158	0,167	0,114		0,156	0,133	0,030	0,192	0,0731		22%
Restricciones	0,108	0,034	0,143	0,091	0,204	0,105		0,119	0,077	0,054	0,128	0,220	0,053	0,056	0,229	0,132	0,094	0,115	0,060	0,234	-0,004		52%

**Tabla F-5: Iteración 3 Análisis de Encuesta Importancia Estratégica**

Experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Promedio	Desv	LS	LI	Coef Var	
<b>Factor</b>																							
Alternativas	0,270	0,310	0,238	0,227		0,263		0,238	0,256	0,270	0,231		0,237	0,278	0,286		0,281	0,260	0,025	0,311	0,2101	10%	
Tránsito	0,216	0,172	0,190	0,227	0,184	0,211		0,190	0,205	0,243	0,205	0,244	0,184		0,200			0,206	0,022	0,250	0,1608	11%	
E. Socioeconomico	0,162	0,207	0,214	0,182	0,204	0,237		0,190	0,231	0,243	0,205	0,146	0,237	0,167	0,143		0,125	0,193	0,038	0,268	0,1177	19%	
Ancho	0,108	0,138	0,095	0,114	0,143	0,026		0,119	0,077	0,054	0,154	0,122	0,132	0,056	0,029		0,031	0,093	0,044	0,182	0,0046	48%	
Largo	0,135	0,138	0,119	0,159	0,102	0,158		0,143	0,154	0,135	0,077	0,073	0,158	0,167	0,114		0,156	0,133	0,030	0,192	0,0731	22%	
Restricciones	0,108	0,034	0,143	0,091	0,204	0,105		0,119	0,077	0,054	0,128	0,220	0,053	0,056	0,229		0,094	0,114	0,062	0,237	-0,009	54%	

Al finalizar la tercera iteración se eliminan los puntos fuera de rango, también se ha eliminado una de las respuestas definitivas. Los valores promedios se normalizan para obtener los coeficientes de la ecuación objetivo:

**Tabla F-6: Resultados Encuesta Importancia Estratégica**

	Normalización de datos	
Factor	Factor	Normalizado
Alternativas	0,260	0,261
Tránsito	0,206	0,206
E. Socioeconomico	0,193	0,193
Ancho	0,093	0,093
Largo	0,133	0,133
Restricciones	0,114	0,114
Suma	<b>0,999</b>	<b>1,000</b>

Se obtiene la siguiente ecuación para el índice de Importancia Estratégica:

$$IE = 0,261 * Ae + 0,206 * TMDA + 0,193 * Ese + 0,093 * An + 0,133 * L + 0,114 * R \text{ (EC. A.2)}$$

## ANEXO G. DOCUMENTOS PARA LA INSPECCIÓN DE PUENTES

### G.1 Fichas de Inspección Rutinaria

MANUAL DE CARRETERAS VOL N° 7		FICHA DE REGISTRO		7.204.3 A Diciembre 2000
<b>REPÚBLICA DE CHILE</b> <b>MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS</b>		<b>NOMBRE DEL PUENTE</b> <input type="text"/>		<b>TIPO DE PUENTE</b> <input type="text"/>
		<b>EN KM</b> <input type="text"/>	<b>EN EL CAUDE</b> <input type="text"/>	<b>COMUNA</b> <input type="text"/>
<b>ROL RUTA CODIGO DV</b> <input type="text"/>	<b>PROV.</b> <input type="text"/>	<b>LUZ MAYOR</b> <input type="text"/>	<b>NÚMERO DE CEPAS</b> <input type="text"/>	<b>¿TIENE ES/VIAJE?</b> <input type="text"/>
<b>REGION</b> <input type="text"/>	<b>ANCHO PASILLOS</b> <input type="text"/>	<b>NÚMERO TRAMO</b> <input type="text"/>	<b>TIPO DE CARPETA</b> <input type="text"/>	<b>CAPACIDAD DEL PUENTE</b> <input type="text"/>
<b>LONG TOTAL</b> <input type="text"/>	<b>ANCHO DE CALZADA</b> <input type="text"/>	<b>ESPESOR DE LOSA</b> <input type="text"/>	<b>GRADO DAÑO</b> <input type="text"/>	
<b>ANCHO TOTAL</b> <input type="text"/>	<b>GALIBO</b> <input type="text"/>	<b>TRÁNSITO (Pas/día)</b> <input type="text"/>		
<b>OBRA FLUVIAL</b> <input type="text"/>				

Figura G-1: Ficha 3.204.3 A

MANUAL DE <b>CARRETERAS</b> VOL N° 7	<b>FICHA DE REGISTRO</b>	7.204.3 B Diciembre 2000
--	--------------------------	-----------------------------

CORTE TRANSVERSAL

MAPA DE UBICACIÓN

FECHA DE CONSTRUCCIÓN	<input type="text"/>	CONSTRUCTOR	<input type="text"/>
PROYECTISTAS	<input type="text"/>		
AUTOS	CAMIONETAS	CAMIONES SIMPLES	CAMIONES TRAILER
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
T.M.D.A. (Pasía)	DEL AÑO	HUBO CORTE EN LOS AÑOS	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
MATERIALES: A = Azero, M = Madera, HA = Hormigón Armado, PC = Precaprimido, LC = Ladrillo y/o Cantería			
PISO	VIGAS	ESTRIBOS	CEPAS
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
DESCRIPCIÓN FUNDACIONES			
ALTERNATIVA EXISTENTE			
<input type="text"/>			
PLANOS EXISTENTES			
<input type="text"/>			
BREVE DIAGNÓSTICO DE SU ESTADO			
<input type="text"/>			

NOMBRE	<input type="text"/>	NOMBRE	<input type="text"/>
CARGO	<input type="text"/>	CARGO	<input type="text"/>
FECHA	<input type="text"/>	FECHA	<input type="text"/>

**Figura G-2: Ficha 3.204.3 B**

MANUAL DE CARRETERAS VOL. N° 7	PLANO DE REGISTRO	7.204.3 C Diciembre 2000																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1203 541 1263 625">NOMBRE DEL PUENTE</th> <th data-bbox="1203 625 1263 709">NOMBRE DEL CAMINO O VIA</th> <th data-bbox="1203 709 1263 793">Km</th> <th data-bbox="1203 793 1263 877">ROL VIA</th> <th data-bbox="1203 877 1263 961">NOMBRE DEL RIO</th> <th data-bbox="1203 961 1263 1045">COMUNA</th> <th data-bbox="1203 1045 1263 1129">PROVINCIA</th> <th data-bbox="1203 1129 1263 1213">REGION</th> <th data-bbox="1203 1213 1263 1297">CODIGO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	NOMBRE DEL PUENTE	NOMBRE DEL CAMINO O VIA	Km	ROL VIA	NOMBRE DEL RIO	COMUNA	PROVINCIA	REGION	CODIGO									
NOMBRE DEL PUENTE	NOMBRE DEL CAMINO O VIA	Km	ROL VIA	NOMBRE DEL RIO	COMUNA	PROVINCIA	REGION	CODIGO												

Figura G-3: Ficha 3.204.3 C

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08			
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre:  Ubicación:  Longitud:  Tipo de Puente:					
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>					
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala <b>1 Muy peligroso</b> <b>2 Peligroso</b> <b>3 Regular, no funciona como fue diseñado.</b> <b>4 Bueno.</b> <b>5 Muy bueno o como nuevo.</b>					
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>					
La siguiente evaluación consta de dos partes:  1. Evaluación del entorno del puente  2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente					
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>					
	1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Figura G-4: Ficha de Calificación Inspección Rutinaria**

	<p>Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b></p>	<p>REV 1 FECHA 07.04.08</p>
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p>		

**Figura G-5: Ficha de Identificación de Deterioros Inspección Rutinaria**

## G.2 Fichas de Inspección General

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Periódica</b>	REV 1 FECHA 07.04.08															
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>																	
Nombre:	Rol de la Ruta:	Nombre de la Ruta:															
Código del puente:	Inspector:	Fecha:															
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>																	
Elemento: _____ Fotografías _____	Elemento: _____ Fotografías _____																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5						
1	2	3	4	5													
1	2	3	4	5													
Elemento: _____ Fotografías _____	Elemento: _____ Fotografías _____																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5						
1	2	3	4	5													
1	2	3	4	5													
Elemento: _____ Fotografías _____	Elemento: _____ Fotografías _____																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5						
1	2	3	4	5													
1	2	3	4	5													
Elemento: _____ Fotografías _____	Elemento: _____ Fotografías _____																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Deterioros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Código</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Descripción</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">_____</td> </tr> </table>		Deterioros	Código	Descripción	_____	_____	_____	_____
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
	Deterioros																
Código	Descripción																
_____	_____																
_____	_____																
Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	Índice de Condición del Elemento (ICE) <table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5						
1	2	3	4	5													
1	2	3	4	5													

Figura G-6: Ficha de Inspección General



### G.3 Codificación de puentes y elementos.

Puentes tipo Pasarelas Cod: 2100		Sistema de Gestión de Puentes <b>Codificación de Elementos</b>			REV 1 FECHA 07.04.08
Código	Nombre del elemento	Pond	Código	Nombre del elemento	Pond
2101	Viga	4	2140	Muro de respaldo de estribo	3
2102	Tablón de resistencia	4	2141	Muro frontal de estribo	3
2103	Tablón de rodado	3	2142	Muro ala de estribo	3
2104	Viga atiesadora transversal	2	2143	Mesa de apoyo para estribo	3
2105	Tore	4	2144	Barra de anclaje	2
2106	Apoyo de torre	3	2145	Aro de anclaje	2
2107	Abrazadera de pilares de torre	2	2146	Placa de anclaje	3
2108	Arriostamiento de torre	3	2147	Machón de anclaje	3
2109	Placa de repartición	2	2148	Fundación	4
2110	Placa de apoyo	2	2149	Terraplén de acceso	2
2111	Silla de apoyo	2			
2112	Cable principal	4	2170	Baranda liviana	1
2113	Péndola	2	2171	Baranda anti impacto	1
2114	Cable de contraventación	3	2172	Baranda mixta	1
2115	Tensor de cable principal	4	2173	Cantonera	2
2116	Clip	1	2174	Barbacana	2
2117	Abrazadera de pilares de torre	2	2175	Pasillo	1
2118	Muerto	1	2176	Defensa caminera	1
2119	Apoyo de cable de contraventación	1	2177	Iluminación	1
			2178	Señalización vertical	1
			2179	Demarcación	1
			2180	Cuneta	1
			2181	Tubo de protección de cable	1
			2182	Sello de tubo de protección	1
			2183	Cauce	1
			2184	Espigón	1
			2185	Resalto hidráulico enrocado	2
			2186	Resalto hidráulico con gavión	2
			2187	Defensa con enrocado	2
			2188	Defensa con gavión	2
			2189	Defensa con mampostería	1
			2190	Sello de juntas de pavimento	2

Figura G-8: Elementos de puente tipo pasarela

Puentes Colgantes Cod: 2200		Sistema de Gestión de Puentes <b>Codificación de Elementos</b>		REV 1	
				FECHA 07.04.08	
Código	Nombre del elemento	Pond	Código	Nombre del elemento	Pond
2201	Losa	2	2240	Muro de respaldo de estribo	3
2202	Losa de acceso	1	2241	Muro frontal de estribo	3
2203	Carpeta de rodado	2	2242	Muro ala de estribo	3
2204	Viga principal	4	2243	Mesa de apoyo estribo	3
2205	Viga atiesadora	3	2244	Pilote	4
2206	Viga trnasversal	3	2245	Pilar	4
2207	Arriostramiento vertical	3	2246	Tapa de pilar	4
2208	Arriostramiento transversal	3	2247	Diagonales o crucetas de pilares	4
2209	Conector de corte	3	2248	Fundación	4
2210	Tablón de resistencia	4	2249	Barra de anclaje	2
2211	Tablón de rodado	3	2250	Aro de anclaje	2
2212	Viga consola	3	2251	Placa de anclaje	3
2213	Viga atiesadora transversal	2	2252	Machón de anclaje	3
2214	Torre	4	2253	Sábana con gavión	1
2215	Apoyo de torre	3			
2216	Abrazadera de pilares de torre	2	2270	Baranda liviana	1
2217	Arriostramientos de torre	3	2271	Baranda anti impacto	1
2218	Placa de repartición	2	2272	Baranda mixta	1
2219	Placa de apoyo	2	2273	Cantonera	2
2220	Silla de apoyo	2	2274	Barbacana	2
2221	Cable principal	4	2275	Pasillo	1
2222	Cable de contraventación	3	2276	Defensa caminera	1
2223	Tensor de cable principal	4	2277	Iluminación	1
2224	Tensor de cable de contraventación	2	2278	Señalización vertical	1
2225	Clip	1	2279	Demarcación	1
2226	Péndola	2	2280	Cuneta	1
2227	Abrazadera	2	2281	Tubo de protección de cable	1
2228	Barra antisísmica	3	2282	Sello de tubo de protección	1
			2283	Cauce	1
			2284	Espigón	1
			2285	Resalto hidráulico enrocado	2
			2286	Resalto hidráulico con gavión	2
			2287	Defensa con enrocado	2
			2288	Defensa con gavión	2
			2289	Defensa con mampostería	1
			2290	Sello de juntas de pavimento	2

**Figura G-9: Elementos de puentes colgantes**

Puentes de Vigas Gerber Cod: 2300		Sistema de Gestión de Puentes <b>Codificación de Elementos</b>			REV 1 FECHA 07.04.08
Código	Nombre del elemento	Pond	Código	Nombre del elemento	Pond
2301	Losa	2	2370	Baranda liviana	1
2302	Losa de acceso	1	2371	Baranda anti impacto	1
2303	Carpeta de rodado	2	2372	Baranda mixta	1
2304	Viga principal	4	2373	Cantonera	2
2305	Travesaño	3	2374	Barbacana	2
2306	Conector de corte	3	2375	Pasillo	1
2307	Barra antisísmica	3	2376	Defensa caminera	1
2308	Placa de repartición	2	2377	Iluminación	1
2309	Placa de apoyo	2	2378	Señalización vertical	1
			2379	Demarcación	1
			2380	Cuneta	1
2340	Muro de respaldo de estribo	3	2381	Tubo de protección de cable	1
2341	Muro frontal de estribo	3	2382	Sello de tubo de protección	1
2342	Muro ala de estribo	3	2383	Cauce	1
2343	Mesa de apoyo estribo	3	2384	Espigón	1
2344	Pilote	4	2385	Resalto hidráulico enrocado	2
2345	Pilar	4	2386	Resalto hidráulico con gavión	2
2346	Tapa de pilar	4	2387	Defensa con enrocado	2
2347	Diagonales o crucetas de pilares	4	2388	Defensa con gavión	2
2348	Fundación	4	2389	Defensa con mampostería	1
2349	Muro de cepa	3	2390	Sello de juntas de pavimento	2
2350	Sábana con gavión	1			
2351	Terraplén de acceso	2			

**Figura G-10: Elementos de puentes de vigas Gerber**

Puentes de vigas Cod: 2400		Sistema de Gestión de Puentes <b>Codificación de Elementos</b>		REV 1 FECHA 07.04.08	
Código	Nombre del elemento	Pond	Código	Nombre del elemento	Pond
2401	Losa	2	2470	Baranda liviana	1
2402	Losa de acceso	1	2471	Baranda anti impacto	1
2403	Carpeta de rodado	2	2472	Baranda mixta	1
2404	Viga principal	4	2473	Cantонера	2
2405	Travesaño	3	2474	Barbacana	2
2406	Conector de corte	3	2475	Pasillo	1
2407	Barra antisísmica	3	2476	Defensa caminera	1
2408	Placa de repartición	2	2477	Iluminación	1
2409	Placa de apoyo	2	2478	Señalización vertical	1
2410	Tablón de resistencia	4	2479	Demarcación	1
			2480	Cuneta	1
			2481	Tubo de protección de cable	1
2440	Muro de respaldo de estribo	3	2482	Sello de tubo de protección	1
2441	Muro frontal de estribo	3	2483	Cauce	1
2442	Muro ala de estribo	3	2484	Espigón	1
2443	Mesa de apoyo estribo	4	2485	Resalto hidráulico enrocado	2
2444	Pilote	4	2486	Resalto hidráulico con gavión	2
2445	Pilar	4	2487	Defensa con enrocado	2
2446	Tapa de pilar	4	2488	Defensa con gavión	2
2447	Diagonales o crucetas de pilares	4	2489	Defensa con mampostería	1
2448	Fundación	3	2490	Sello de juntas de pavimento	2
2449	Muro de cepa	1			
2450	Sábana con gavión	2			
2451	Terraplén de acceso	2			
2452	Tornapunta	3			
2453	Sopanda	2			
2454	Apoyo tornapunta	4			
2455	Cabezal	1			
2456	Muerto	2			

**Figura G-11: Elementos de puentes de vigas**

Puentes tipo Marco Cajón		Sistema de Gestión de Puentes		REV 1	
Alcantarillas S.S. Cod: 2500		<b>Codificación de Elementos</b>		FECHA 07.04.08	
Código	Nombre del elemento	Pond	Código	Nombre del elemento	Pond
2501	Losa	2	2570	Baranda liviana	1
2502	Losa de acceso	1	2571	Baranda anti impacto	1
2503	Carpeta de rodado Marco Cajón	2	2572	Baranda mixta	1
2504	Carpeta de rodado acceso a marco cajón	1	2573	Cantonera	2
2505	Carpeta de rodado de alcantarilla	2	2574	Barbacana	2
2506	Viga de empuje	3	2575	Pasillo	1
2507	Contrafuerte	1	2576	Defensa caminera	1
2508	Tubo de acero corrugado	2	2577	Iluminación	1
			2578	Señalización vertical	1
			2579	Demarcación	1
2540	Muro de respaldo de estribo	3	2580	Cuneta	1
2541	Muro frontal de estribo	3	2581	Tubo de protección de cable	1
2542	Muro ala de estribo	3	2582	Sello de tubo de protección	1
2543	Mesa de apoyo estribo	3	2583	Cauce	1
2544	Muro transversal	2	2584	Espigón	1
2545	Losa de fundació	3	2585	Resalto hidráulico enrocado	2
2546	Terraplén de acceso a Marco Cajón	2	2586	Resalto hidráulico con gavión	2
2547	Terraplén	3	2587	Defensa con enrocado	2
2548	Muro de boca	2	2588	Defensa con gavión	2
2549	Radier de alcantarilla	1	2589	Defensa con mampostería	1
2550	Losa de fundación	3	2590	Sello de juntas de pavimento	2
2551	Sábana de Gavión	1			

**Figura G-12: Elementos de puentes tipo marco cajón y alcantarillas.**

Puentes tipo Arco Cod: 2600		Sistema de Gestión de Puentes <b>Codificación de Elementos</b>			REV 1 FECHA 07.04.08
Código	Nombre del elemento	Pond	Código	Nombre del elemento	Pond
2601	Losa	2	2670	Baranda liviana	1
2602	Losa de acceso	1	2671	Baranda anti impacto	1
2603	Carpeta de rodado	2	2672	Baranda mixta	1
2604	Viga principal	4	2673	Cantonera	2
2605	Travesaño	3	2674	Barbacana	2
2606	Conector canal	3	2675	Pasillo	1
2607	Barra antisísmica	3	2676	Defensa caminera	1
2608	Placa de repartición	2	2677	Iluminación	1
2609	Placa de apoyo	2	2678	Señalización vertical	1
			2679	Demarcación	1
			2680	Cuneta	1
			2681	Tubo de protección de cable	1
2640	Muro de respaldo de estribo	3	2682	Sello de tubo de protección	1
2641	Muro frontal de estribo	3	2683	Cauce	1
2642	Muro ala de estribo	3	2684	Espigón	1
2643	Mesa de apoyo estribo	3	2685	Resalto hidráulico enrocado	2
2644	Pilote	4	2686	Resalto hidráulico con gavión	2
2645	Pilar	4	2687	Defensa con enrocado	2
2646	Tapa de pilar	4	2688	Defensa con gavión	2
2647	Diagonales o crucetas de pilares	4	2689	Defensa con mampostería	1
2648	Fundación	4	2690	Sello de juntas de pavimento	2
2649	Muro de cepa	3			
2650	Sábana con gavión	1			
2651	Terraplén de acceso	2			
2652	Puntal	4			

**Figura G-13: Elementos de puentes tipo arco.**

#### G.4 Codificación de Daños

Codigo	Elemento	Deterioros
1001	Hormigón	Hormigón poroso
1002	Hormigón	Abrasión o delaminación
1003	Hormigón	Grietas
1004	Hormigón	Defectos en el recubrimiento
1005	Hormigón	Corrosión de barras de acero
1006	Hormigón	Corrosión de refuerzo pre o postensado
1007	Hormigón	Corrosión de los ductos para tendones postensados
1008	Hormigón	Corrosión de anclajes de cables pretensados
1009	Hormigón	Ductos sin grouting de relleno
1010	Hormigón	Fisuras en una dirección
1011	Hormigón	Fisuras en red
1012	Hormigón	Desconche
1013	Hormigón	Nido de piedras
1014	Hormigón	Eflorescencia
1015	Hormigón	Delaminación
1016	Hormigón	Fragmentación
1017	Hormigón	Armadura al aire
1101	Acero	Corrosión y/u oxidación
1102	Acero	Rotura de uniones
1103	Acero	Fisuras en soldadura
1104	Acero	Pérdida de fijaciones
1105	Acero	Faltan elementos
1106	Acero	Pérdida de geometría
1107	Acero	Deformaciones locales
1108	Acero	Grietas
1109	Acero	Alabeo
1110	Acero	Erosión o abrasión
1201	Madera	Aplastamiento
1202	Madera	Rajadura
1203	Madera	Desgaste mecánico
1204	Madera	Nudo
1205	Madera	Debilitamiento de unión
1206	Madera	Pérdida de fijación
1207	Madera	Degradación
1208	Madera	Deformaciones excesivas
1209	Madera	Pudrición
1210	Madera	Ataque de insectos
1301	Albañilería	Eflorescencia
1301	Albañilería	Agrietamiento
1301	Albañilería	Asentamientos diferenciales
1301	Albañilería	Desaplomo muros o columnas
2001	Pavimentos	Grietas
2002	Pavimentos	Baches
2003	Pavimentos	Ahuellamiento
2004	Pavimentos	Escalonamiento
2005	Pavimentos	Daño en membranas impermeables
2006	Pavimentos	Desgaste mecánico pavimento asfáltico
2007	Pavimentos	Desgaste sello de junta

2008	Pavimentos	Pérdida de áridos pavimento
2009	Pavimentos	Calamina
2010	Pavimentos	Desgaste mecánico por tráfico
2011	Pavimentos	Alabeo de losas
2101	Apoyos	Deformación excesiva (desplazamiento, rotación)
2102	Apoyos	Deterioro en el hormigón o elementos elastoméricos
2103	Apoyos	Corrosión de capas protectoras en elementos metálicos
2104	Apoyos	Daño mecánico en conectores
2105	Apoyos	Defectos de construcción
2106	Apoyos	Agrietamiento del neopreno
2107	Apoyos	Pérdida de apoyo o fijación en neopreno
2201	Barreras de seguridad	Deterioro de elementos de concreto
2202	Barreras de seguridad	Deformaciones
2203	Barreras de seguridad	Corrosión de elementos de acero
2204	Barreras de seguridad	Daño mecánico por impactos
2205	Barreras de seguridad	Falta de señalización
2206	Barreras de seguridad	Falta de pintura
2301	Juntas de expansión	Corrosión o deterioro de las capas protectoras
2302	Juntas de expansión	Daño mecánico en conectores
2303	Juntas de expansión	Defectos de construcción ( falta de conectores, etc)
2304	Juntas de expansión	Deterioro de sellos y membranas.
2305	Juntas de expansión	Deterioro por grietas
2306	Juntas de expansión	Falta de sello
2307	Juntas de expansión	Obstrucción de juntas
2401	Sistema de drenaje	Daño mecánico
2402	Sistema de drenaje	Corrosión de tuberías
2403	Sistema de drenaje	Acumulación de basura, suciedad o escombros
2501	Aceras	Daños superficiales
2502	Aceras	Deformación excesiva (desplazamiento, rotación)
2503	Aceras	Elementos faltates
3001	Elementos de protección	Corrosión
3002	Elementos de protección	Deterioro de la pintura protectora
3003	Elementos de protección	Deterioro de elementos de hormigón
3004	Elementos de protección	Daño por impactos
3005	Elementos de protección	Elementos faltantes
3006	Elementos de protección	Derrumbe de talud
3007	Elementos de protección	Asentamiento
3008	Elementos de protección	Volcamiento de gavión
4001	Daños varios	Movimientos laterales subestructura
4002	Daños varios	Rotación pilas
4003	Daños varios	Asentamiento diferencial
4004	Daños varios	Desplazamientos verticales excesivos subestructura
4005	Daños varios	Diseño geométrico inadecuado
4006	Daños varios	Mala visibilidad horizontal
4007	Daños varios	Mala visibilidad vertical
4008	Daños varios	Peralte inadecuado
4009	Daños varios	Camino angosto
4010	Daños varios	Puente angosto
4011	Daños varios	Obstrucción del cauce
4012	Daños varios	Empozamiento de cauce
4013	Daños varios	Socavación, erosión

**Tabla G-1: Catálogo de daños**

## **G.5 Procedimiento de Inspección General**

Para la ejecución de la inspección general se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Corroborar que se tienen los elementos fundamentales para la inspección:
  - i. Implementos de seguridad: zapatos de seguridad, botas, casco, lentes de seguridad, chaleco reflectante.
  - ii. Implementos de medición: grietómetro, metro, martillo de geólogo.
  - iii. Implementos de acceso: cuerdas, escalas, etc.
  - iv. Implementos de registro: fichas de registro, cámara digital, lápiz, computador portátil.
  - v. Catálogos y codificaciones: elementos, daños, puentes.
2. Planificar la ruta a realizar, chequear accesos a puentes y zonas de detención posibles.
3. Estacionar el vehículo de forma segura en la berma u otra zona. De ser posible dejar un cono de seguridad vial advirtiendo el peligro.
4. Definir zona de acceso al puente y su subestructura.
5. Medir longitud y ancho del puente y registrar su ubicación.
6. Medir deterioros de la cubierta y elementos complementarios ubicados en superficie.
7. Acceder a la zona inferior del tablero y subestructura cuidando utilizar los implementos de seguridad requeridos según sea el acceso.
8. Medir y registrar condiciones y deterioros de la subestructura y zona inferior del tablero.
9. Asegurarse de contar con fotografías generales del puente lateral, superficie en ambos sentidos, curso hidráulico aguas abajo y aguas arriba.
10. Una vez registrados todos los deterioros calificar cada elemento y verter la información en la ficha Resumen de Inspección General.

## ANEXO H. CÁLCULO DEL RIESGO SÍSMICO

### H.1 Cálculo de la Amenaza Sísmica

Metodología de cálculo de la amenaza sísmica (Adaptado de DICTUC, 2006; Fischer et al, 2002)

La amenaza sísmica consiste en la determinación de la curva de aceleración basal máxima para una estructura. Para su cálculo se debe seguir el siguiente procedimiento:

#### H.1.1 Modelo de la fuente

Se deben determinar las fuentes sísmicas relevantes y modelarlas mediante discretización. En este caso se usaron las 39 fuentes que representan la interacción interplacas en el plano inclinado de Benioff. Se calcula la distancia (R) entre cada uno de los elementos discretos que componen la fuente y la ubicación geográfica de las estructuras.

#### H.1.2 Relaciones de recurrencia y las tasas de ocurrencia

Para esto se asume que las magnitudes de los sismos están distribuidas exponencialmente y se utiliza la relación de Gutenberg-Richter para obtener la densidad de probabilidades. La tasa de ocurrencia promedio ( $\nu$ ) de sismos en la fuente se define como el número promedio de eventos entre  $M_{\min}$  y  $M_{\max}$  por unidad de tiempo. La densidad de probabilidad se obtiene con la siguiente fórmula:

$$f(M) = c\beta e^{-\beta(M-M_{\min})}$$

$$\text{donde } c = \frac{1}{1 - e^{-\beta(M_{\max} - M_{\min})}}$$

$$\nu = |N(M_{\min}) - N(M_{\max})| A_0 / A_{ref}$$

Donde:

$A_0$  es la superficie del elemento escogido.

$A_{ref}$  es el área de medición de la estadística de sismos.

### H.1.3 Selección de relación de atenuación

Se usó el modelo de aceleración horizontal de Martin proveniente de la regresión no lineal de los registros chilenos.

$$A = 71.3e^{0.83M} (R + 60)^{-1.03}$$

$$(\sigma_{\ln A} = 0,7)$$

### H.1.4 Cálculo de la amenaza sísmica

Este paso consiste en la construcción de curvas de probabilidad de excedencia. La probabilidad de excedencia se calcula de acuerdo a:

$$P_k(PGA > A | sismo_k) = \iint P(PGA > A | sismo_k : M, R) f(M) f(R) dM dR$$

Incluyendo el efecto temporal, utilizando un modelo de ocurrencia de Poisson se tiene:

$$P(n, t) = \frac{(vt)^n e^{-vt}}{n!}$$

Donde  $P(n, t)$  es la probabilidad de tener  $n$  eventos en un período de tiempo  $t$ . Combinando lo anterior para las diversas fuentes se tiene que la probabilidad basal de excedencia es:

$$P_k(PGA > A) = 1 - \prod_k (1 - P_k(PGA > A))$$

Con esta relación se construyen las curvas de la aceleración basal y se obtienen los valores para un sismo de diseño 10% de excedencia en 50 años y un sismo máximo capaz 10% de excedencia en 100 años.

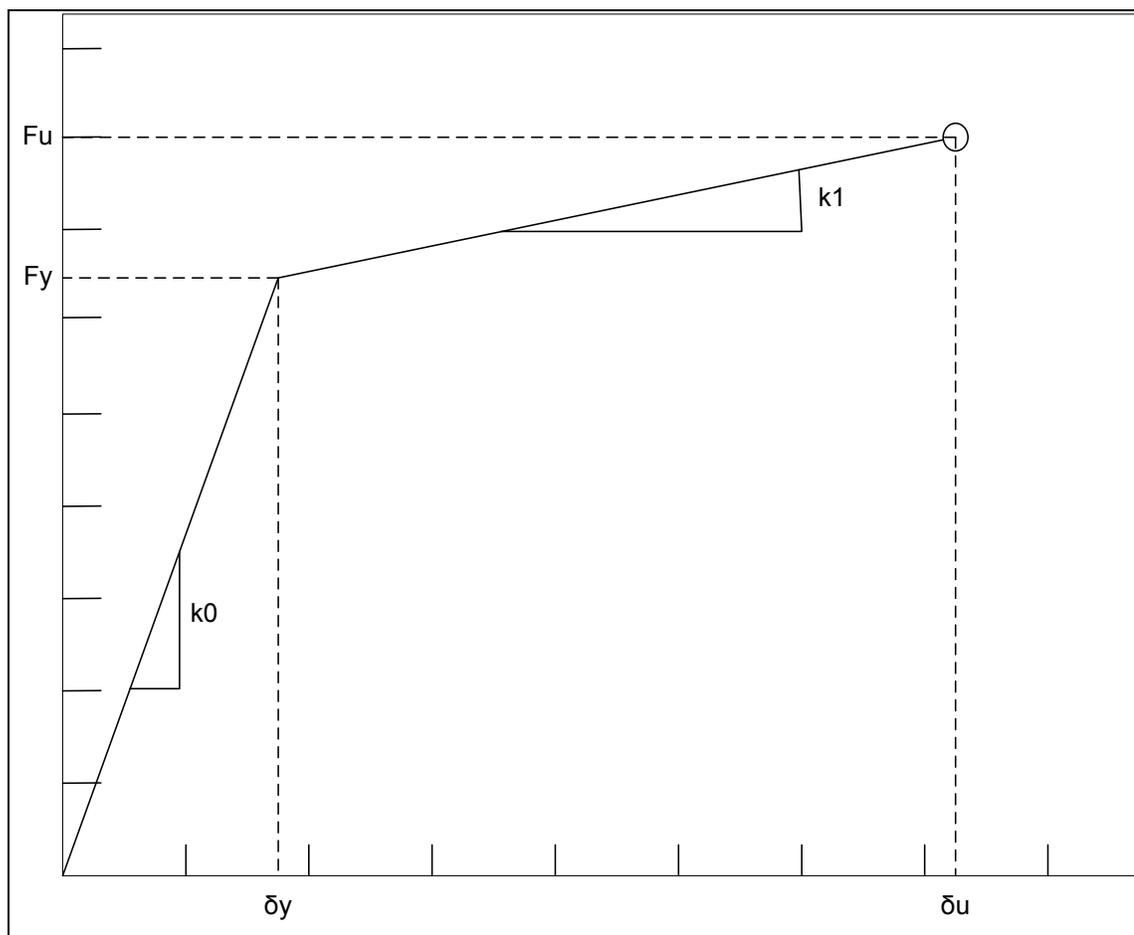
## H.2 Cálculo de vulnerabilidad estructural

Metodología de cálculo de la vulnerabilidad estructural (Adaptado de DICTUC, 2006; Dides y de la Llera et al, 2005)

El cálculo de la vulnerabilidad estructural consiste en la determinación del daño que podría sufrir el puente al producirse la aceleración sísmica determinada como amenaza para su ubicación geográfica. Para su cálculo se debe:

### H.2.1 Evaluación del comportamiento no lineal

Consiste en la creación del modelo simplificado de la cepa más solicitada en la dirección longitudinal y transversal. Se modela la superestructura como una masa concentrada y se consideran rotulas plásticas en los extremos. Se realiza un análisis de push-over en cada dirección usando fuerzas horizontales aplicadas en las masas concentradas. Se construye el modelo bilineal equivalente determinado por la rigidez elástica del sistema  $k_0$ , la fuerza de fluencia  $f_y$  y la rigidez post-fluencia  $k_1$ . Se obtiene una curva de la siguiente forma:



**Figura H-1: Modelo bilineal ajustado**

### H.2.2 Evaluación de la demanda inelástica

Utilizando el espectro de pseudo-aceleración para suelos estipulado en la norma NCh433 Of96 se construye un modelo no lineal utilizando las propiedades obtenidas en la etapa previa del modelo bilineal ( $k_0$ ,  $k_1$  y  $f_y$ ). Se calculan los desplazamientos longitudinales y transversales debido a fuerzas de aceleración correspondientes a la amenaza sísmica correspondiente a sismo de diseño y máximo capaz determinando la demanda no-lineal. Con estos datos se obtiene la historia de desplazamientos de la estructura ante un sismo y la curva de histéresis en ambos sentidos.

### **H.2.3 Cálculo del nivel de daño asociado**

Con los cálculos de la etapa anterior se obtienen el desplazamiento máximo, la deformación relativa o drift, la ductilidad y el factor de reducción de respuesta elástica  $R^*$ .

El drift se asocia a curvas de nivel de daño obtenidas previamente en base a experiencias de laboratorio. Estas curvas relacionan el porcentaje de drift con el nivel de daño de la estructura para elementos tipo muro y tipo columna.

## ANEXO I. DATOS DE INSPECCIÓN EN TERRENO DE PUENTES

La inspección en terreno se realizó en dos instancias, la primera para ajuste de herramientas y la segunda para validación del sistema completo.

### I.1 Primera aplicación en terreno

La siguiente figura muestra imágenes la inspección de un puente ubicado en la Región Metropolitana.



**Figura I-1: Fotos de inspección puente de prueba.**

Se pudo acceder a la zona inferior del tablero debido al escaso caudal que traía el río. Sin embargo la aplicación de las distintas metodologías de inspección entregó las siguientes conclusiones:

- a. La inspección rutinaria es de fácil aplicación, pero la escala usada (valores enteros del 1 al 5) no permite una apropiada diferenciación del estado del puente. La escala debería incluir decimales. El trabajo puede ser realizado por personal de la agencia vial con entrenamiento en puentes.
- b. La inspección hidráulica es bien guiada por los elementos a inspeccionar definidos en la ficha, pero para evaluar el estado hidráulico definitivo es necesario experiencia y especialización en el área hidráulica. El acceso a cada cepa para observar la socavación no es posible en todos los casos en puentes largos (360 m en el caso del puente inspeccionado).
- c. El catálogo de deterioros debe incluir sólo patologías generales observables y no diferenciar por la causa de la patología (ej. Distintos tipos de grietas). Es recomendable acompañarlo de imágenes de las patologías para una mejor identificación.
- d. La ficha de inspección general segmentada por deterioro no es de fácil aplicación y tampoco permite un buen análisis posterior de los resultados. Se recomienda una ficha por elemento donde se resuman los distintos deterioros de cada elemento.
- e. La accesibilidad a cada puente es un tema importante, en especial en carreteras concesionadas donde los bordes se encuentren protegidos con barandas de seguridad.

## **I.2 Segunda aplicación en terreno**

La segunda campaña de inspección en terreno consideró 8 puentes ubicados en 3 vías de la V Región. Se inspeccionaron puentes de hormigón convencional, pretensado y acero con configuraciones de vigas continuas, simplemente apoyadas, cajón, alcantarillas super span y vigas gerber. A continuación se presentan las fichas de inspección y fotografías de los puentes inspeccionados.

### I.2.1 Puente 1.



**Figura I-2: Puente 1**

Sistema de Gestión de Puentes		REV 1
<b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>		FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <p>Se observan: impactos en barrera</p> <p style="padding-left: 40px;">Juntas con losa de aproximación inicial saltada  Estribos en buen estado  No se puede acceder a la zona de pilotes y fundaciones. Inspección remota no muestra información suficiente  No se puede observar socavación de la subestructura  Las estructuras complementarias: enrocado y gaviones están funcionando y en buen estado.  El cauce es alterado por la presencia del puente, hay un cambio importante en la velocidad del flujo más lento aguas arriba del puente aumentando el nivel del caudal y más rápido aguas abajo.  Transporte de material vegetal limita sección y aumenta el efecto.  Laderas aguas arriba muestran desprendimiento de terreno, pero no es grave debido a la presencia de planicie de inundación.  Vigas inicial y final del puente se pueden inspeccionar y se ven en perfectas condiciones.  Limpiar el cauce, mejorar defensas fluviales y arreglar defectos menores en la superficie de rodado y elementos complementarios.</p>		

**Figura I-3: Deterioros Puente 1**

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>		REV 1	FECHA 07.04.08	
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre: Punte 1					
Ubicación: R-60-ch					
Longitud: 175 m					
Tipo de Punte: Punte de vigas pretensadas					
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>					
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala					
1 Muy peligroso					
2 Peligroso					
3 Regular, no funciona como fue diseñado.					
4 Bueno.					
5 Muy bueno o como nuevo.					
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>					
La siguiente evaluación consta de dos partes:					
1. Evaluación del entorno del puente					
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente					
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> N/A
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>					
	1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
Grado de Daño del Punte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura I-4: Inspección rutinaria Punte 1

TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>		
Nombre: Puente 1	Río: Aconcagua	Largo del puente: 175 m
Código del puente: 60-ch-0	Inspector: SVD	Fecha: 25-05-2008
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>		
<b>Forma del río:</b> <u>Entre trenzado y meandroso. Meandros río arriba.</u>		
<b>Estado de las riberas:</b> <u>Bien en la zona directa del puente por presencia de gaviones y enrocado</u> <u>Aguas arriba hay zona sin vegetación con muestras de erosión.</u>		
<b>Planicies de inundación:</b> <u>Existen aguas arriba. Ladera derecha utilizada para agricultura, ladera izquierda sin</u> <u>modificaciones antropogénicas. Aguas abajo no hay planicies de inundación</u>		
<b>Presencia de desechos:</b> <u>Si. En su mayoría arraste de desechos vegetales, también algo de basura</u> <u>proveniente de canales de la zona</u>		
<b>Altura de aguas:</b> <u>Altura libre bajo el puente: actual 8 m, marca mayor crecida 6 m. Diferencia de altura aguas</u> <u>arriba y aguas abajo. Estructura altera el flujo</u>		
<b>Condiciones aguas arriba-abajo:</b> <u>cambio en altura y velocidad de flujo. Leve remanso aguas arriba.</u> <u>Cambio en la topografía del lugar evidente.</u>		
<b>Tipo de pilas:</b> <u>Pilotes de hormigón armado hincados. 6 tramos de tres pilotes con dado de fundación y</u> <u>cabezal. Pilar redondo. Dado rectangular redondeado en las puntas</u>		
<b>Ángulo de ataque:</b> <u>90°</u>		
<b>Disminución de sección:</b> <u>Se percibe cambio en velocidad</u>		
<b>Evidencias de impacto y abrasión:</b> <u>No se puede observar a nivel de fundaciones, zona superior sin muestras</u> <u>de impacto.</u>		
<b>Socavación del lecho:</b> <u>No se puede observar</u>		
<b>Socavación de la estructura:</b> <u>No se puede observar</u>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
<u>El puente evidentemente modifica las condiciones hidráulicas del río, altera la altura de agua y velocidad de flujo</u> <u>La sección se disminuye más debido a la presencia de basura y elementos vegetales que deben limpiarse</u> <u>Existe evidencia de leve depósito aguas arriba por disminución de la velocidad por el remanso. El puente está</u> <u>en buenas condiciones actualmente, pero no se puede asegurar a largo plazo debido a la interferencia del flujo</u> <u>sin embargo las evidencias de nivel de agua indican que no se ha alcanzado la superestructura, se puede mejorar</u> <u>la situación con una buena mantenimiento rutinaria de limpieza.</u>		

**Figura I-5: Inspección Hidráulica Puente 1**

## I.2.2 Puente 2



Figura I-6: Fotografías Puente 2

	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <p>El PS es sobre una vía local que conecta con la cruz y un canal de regadío          La estructura es un cajón con viga y losa superior de HA y muros laterales de HA con un muro de separación interior que separa el camino del canal.</p> <p>La zona del canal tiene evidentes residuos acumulados debido a depositación por baja velocidad y evidencia de impactos menores en la parte baja de las bases</p> <p>Muro de contención del terraplén de acceso con grietas y problemas de filtraciones.</p>		

Figura I-7: Deterioros observados Puente 2

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>		REV 1 FECHA 07.04.08					
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>								
Nombre:	Puente 2 (Paso Superior)							
Ubicación:	Ruta 60 ch km 12							
Longitud:	6 m							
Tipo de Puente:	Paso superior de hormigón armado tipo alcantarilla SS							
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>								
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala								
1 Muy peligroso								
2 Peligroso								
3 Regular, no funciona como fue diseñado.								
4 Bueno.								
5 Muy bueno o como nuevo.								
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>								
La siguiente evaluación consta de dos partes:								
1. Evaluación del entorno del puente								
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente								
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>								
	1	2	3	4	5			
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>				1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>				1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			

**Figura I-8: Inspección Rutinaria Puente 2**

Puente: Puente 2		Sistema de Gestión de Puentes		REV 1
Cod: 60-ch-12		<b>Resumen Elementos Puente</b>		FECHA 27.04.08
Cod Tipo: 2500				
Código	Cantidad	Ponderación	Nota cada elemento (ICE)	ICE tipo
2501	1	4	5	5
2502	2	2	5 4	4
2503	2	4	5 5	5
2504	2	2	5 5	5
2505	2	4	5 5	5
2506	2	6	4 5	4
2541	2	6	5 4	4
2544	1	4	5	5
2545	1	6	5	5
2546	2	4	3 5	3
2547	1	6	5	5
2571	4	1	5 5 5 5	5
2574	4	2	5 4 5 5	4
2577	4	1	5 5 5 5	5
2578	2	1	5 5	5
2579	6	1	5 5 5 5 5 5	5
Cálculo ICP				
ICP estructura		4,56		SAVD  FIRMA RESPONSABLE
ICP subestructura		4,36		
ICP superestructura		4,54		
ICP complementarios		4,67		

Figura I-9: Inspección General Puente 2

### I.2.3 Puente 3



**Figura I-10: Fotografías Puente 3**

	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <p>El flujo bajo el canal es pequeño, pero se encuentra con escombros que ante aumento podrían causar problemas.</p> <p>Los lementos complementarios como barreras laterales de hormigón para el flujo están deteriorados          Enrocado en buen estado.          Vegetación abundante en laderas y parte del canal</p> <p>Juntas de expansión con desconche y con elementos insertos que impiden normal funcionamiento.          Barreras con oxidación menor          Barbacana obstruida provoca desegüe por junta la altura del estribo. Eflorescencia en el estribo          Losas de acceso con agrietamiento          Muros de contención de estribos con nidos por mala colocación de hormigón</p>		

**Figura I-11: Deterioros observados en Puente 3**

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>		REV 1 FECHA 07.04.08					
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>								
Nombre:	Puente 3							
Ubicación:	Ruta 60-ch km 25							
Longitud:	25 m							
Tipo de Puente:	Puente de vigas pretensadas							
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>								
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala								
1 Muy peligroso								
2 Peligroso								
3 Regular, no funciona como fue diseñado.								
4 Bueno.								
5 Muy bueno o como nuevo.								
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>								
La siguiente evaluación consta de dos partes:								
1. Evaluación del entorno del puente								
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente								
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>								
	1	2	3	4	5			
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>				1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>				1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Figura I-12: Inspección Rutinaria Puente 3

TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>		
Nombre: Puente 3	Río: Canal Afluente Aconcagua	Largo puente: 25 m
Código del puente: 60-ch-25	Inspector: SAVD	Fecha: 26-05-2008
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>		
<b>Forma del río:</b> <u>Meandroso en la zona del puente</u>		
<b>Estado de las riberas:</b> <u>Sin muestras de socavación, buena cubierta vegetal, enrocados. Aguas arriba existía una estructura de protección de hormigón que está destruida</u>		
<b>Planicies de inundación:</b> <u>Existen a la izq (vista desde el puente) aguas arriba y a ambos costados aguas abajo. Ocupada por cultivos aguas arriba</u>		
<b>Presencia de desechos:</b> <u>Vegetales en el canal</u>		
<b>Altura de aguas:</b> <u>20-50 cms actualmente. Evidencia de menor altura libre 3 m. Actualmente 6 m altura libre</u>		
<b>Condiciones aguas arriba-abajo:</b> <u>No hay efectos en el flujo, flujo leve y lento a ambos lados del puente. localizado en canales menores formados.</u>		
<b>Tipo de pilas:</b> <u>No existen</u>		
<b>Ángulo de ataque:</b> <u>No aplica</u>		
<b>Disminución de sección:</b> <u>Leve, por estribos y terraplenes de acceso y salida</u>		
<b>Evidencias de impacto y abrasión:</b> <u>No existen</u>		
<b>Socavación del lecho:</b> <u>Leve, existe debido a un suelo fino arcilloso del fondo. Provcive de erosionarse, al igual que en las riberas</u>		
<b>Socavación de la estructura:</b> <u>No , acceso directo a estribos, no están socavados</u>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
<u>Excelente estado en cuanto a socavación de la estructura. No representa peligro. Mantner despejado.</u>		

**Figura I-13: Inspección Hidráulica Puente 3**

Puente:		Sistema de Gestión de Puentes		REV	1
Cod:		<b>Resumen Elementos Puente</b>		FECHA	27.04.08
Cod Tipo:					
Código	Cantidad	Ponderación	Nota cada elemento (ICE)	ICE tipo	
2401	1	4	5	5	
2403	3	3	4 3 4	3	
2404	3	4	5 5 5	5	
2409	4	3	5 5 4 4	4	
2440	2	6	4 4	4	
2442	2	6	5 4	4	
2450	4	2	5 5 4 5	4	
2474	12	2	4 4 3 3 4 4 5 5 4 4 2 4	2	
2476	16	1	5 5 5 4 4 4 5 3 5 4 3 3 4 5	3	
2478	4	1	5 5 5 4	4	
2483	1	1	5	5	
2487	4	2	5 5 5 5	5	
2490	3	2	3 2 3	2	
Cálculo ICP					
ICP estructura		3,97		SAVD  FIRMA RESPONSABLE	
ICP subestructura		4,00			
ICP superestructura		4,36			
ICP complementarios		3,33			

Figura I-14: Inspección General Puente 3

### I.2.4 Puente 4



**Figura I-15: Fotografías Puente 4**

	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <p>El estribo final está dañado, multiples grietas y desconche en zona superior izquierda          Deformación excesiva en 2° tramo ante paso de camiones, movimiento relativo en enlace de primer tramo con segundo, vigas gerber          Unions de vigas gerner con filtraciones, pérdida de sección. En la zona inicial 2 de las 5 uniones presentan el problema, 1 y2. En la unión final las 5 uniones presentan pérdida de sección, en especial la 1 y 2 correspondientes al sector aguas abajo.          El refuerzo de acero presenta deformaciones permanentes, todas las placas          En la unión inicial hay pérdida de piezas conectoras para las placas de acero</p> <p>Se observa leve remanso aguas arriba.</p>		

**Figura I-16: Deterioros puente 4**

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08			
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre:	Pte 4				
Ubicación:	ruta 60 ch- km 38				
Longitud:	102 m				
Tipo de Puente:	H.A. configuración vigas gerner en extremos y vigas empotradas al centro. Puente reforzado-refaccionado				
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>					
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala					
1 <b>Muy peligroso</b>					
2 <b>Peligroso</b>					
3 <b>Regular, no funciona como fue diseñado.</b>					
4 <b>Bueno.</b>					
5 <b>Muy bueno o como nuevo.</b>					
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>					
La siguiente evaluación consta de dos partes:					
1. Evaluación del entorno del puente					
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente					
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>					
	1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Figura I-17: Inspección rutinaria Puente 4**

TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>		
Nombre: Punte 4	Río: Estero 4, afluente Acon.	Largo puente: 102 m
Código del puente: 60-ch-38	Inspector: SAVD	Fecha: 27-05-2008
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>		
<b>Forma del río:</b> <u>Recto. No hay presencia de deltas, islas ni formaciones similares.</u>		
<b>Estado de las riberas:</b> <u>Excelente estado, profusa vegetación y protecciones en la zona directa del puente.</u>		
<b>Planicies de inundación:</b> <u>Existen extensas planicies de inundación al costado oriente del puente aguas arriba y poniente aguas abajo. Actualmente las planicies se encuentran con vegetación natural de la zona.</u>		
<b>Presencia de desechos:</b> <u>No, sólo vegetación acuífera aguas abajo.</u>		
<b>Altura de aguas:</b> <u>Profundidad: 1 m. Altura libre actual 4 m. Altura libre de marcas de mayor crecida 2 m.</u>		
<b>Condiciones aguas arriba-abajo:</b> <u>flujo lento a ambos lados, poca alimentación y circulación del agua. Aguas arriba remanso y mayor altura de agua que aguas abajo. Si nmayores inconvenientes.</u>		
<b>Tipo de pilas:</b> <u>5 pilas con dado rectangular. Pilotes rectangulares continuos</u>		
<b>Ángulo de ataque:</b> <u>10° de desfase de la perpendicular</u>		
<b>Disminución de sección:</b> <u>Mediana, debido al gran tamaño de los dados de fundación</u>		
<b>Evidencias de impacto y abrasión:</b> <u>Impacto menor en 4° dado de fundación, marcas en borde oriente.</u> <u>Abarasión no existe.</u>		
<b>Socavación del lecho:</b> <u>No se observa debido a poca velocidad del cauce</u>		
<b>Socavación de la estructura:</b> <u>Leve y localizada en pila de el medio. Las otras pilas no presentan socavación</u> <u>Pila socavada en parte delantera de ataque del flujo, leve en zona variación de nivel de agua, leve pérdida de mat.</u>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
<u>Reparar pila media. Nivel del agua no evidencia llegar al tablero pero se debe a poco caudal más que a un adecuado diseño hidráulico. No hay riesgos evidentes.</u>		

**Figura I-18: Inspección Hidráulica Punte 4**

Puentes:		Sistema de Gestión de Puentes										REV	1					
Cod:		<b>Resumen Elementos Puento</b>										FECHA	27.04.08					
Cod Tipo:																		
Código	Cantidad	Ponderación	Nota cada elemento (ICE)										ICE tipo					
2401	18	4	4	3	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	4	4	4	3
2403	6	3	4	3	4	4	4	4									3	
2404	25	8	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	2
2404			4	3	3	3	3	2	2	3	2	3						
2405	10	6	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4					3	
2406	10	9	3	3	4	4	4	2	2	3	3	3					2	
2409	3	3	4	4	4												4	
2441	2	6	5	3													3	
2442	4	6	5	5	4	4											4	
2444	5	8	4	5	5	5	5										4	
2446	5	8	4	4	4	4	3										3	
2447	5	8	4	4	3	4	4										3	
2470	24	1	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4
2474	12	2	5	5	4	5	4	4	3	4	4	4	4	4			3	
2475	6	2	4	4	4	4	4	4									4	
2478	4	1	5	5	5	3											3	
2488	6	2	4	5	4	5	5	4									4	
<b>Cálculo ICP</b>																		
ICP estructura						3,06						SAVD  <b>FIRMA RESPONSABLE</b>						
ICP subestructura						3,39												
ICP superestructura						2,58												
ICP complementarios						3,63												

Figura I-19: Inspección General Puento 4

### I.2.5 Puente 5



**Figura I-20: Fotografías Puente 5**

	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En cepas nidos de piedra y desconche localizado, no hay armadura expuesta.</li> <li>Pilares en excelente estado.</li> <li>Vigas con agrietamiento leve</li> <li>Primera viga d segundo tramo presnta grietas profundas, evidencias de oxidación y expansión de la armadura.</li> <li>Se ve peligrosa</li> <li>Estribos en buen estado</li> <li>Proteccionne fluviales con evidencia de impactos, pérdida de material.</li> <li>Barreras poco seguras, deterioro y falta de resistencia, están sueltas en la zona de conexión.</li> <li>Pavimento agrietado y asfalto tapando juntas de expansión d ela estructura</li> <li>Juntas con asfalto o llenas de elementos externos producen sobretensiones y pérdida de material en la zona</li> </ul>		

**Figura I-21: Deterioros puente 5**

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08			
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre:	Puente 5				
Ubicación:	Ruta 60-ch km 40				
Longitud:	24 m				
Tipo de Puente:	Puente de Vigas H.A.				
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>					
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala					
1 <b>Muy peligroso</b>					
2 <b>Peligroso</b>					
3 <b>Regular, no funciona como fue diseñado.</b>					
4 <b>Bueno.</b>					
5 <b>Muy bueno o como nuevo.</b>					
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>					
La siguiente evaluación consta de dos partes:					
1. Evaluación del entorno del puente					
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente					
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>					
	1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura I-22: Inspección Rutinaria Puente 5

TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>		
Nombre: Puente 5	Río: Afluente aconcagua	Largo puente: 24 m
Código del puente: 60-ch-40	Inspector: SAVD	Fecha: 28-05-2008
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>		
<b>Forma del río:</b> <u>Recto en la zona de influencia del puente. Bien canalizado</u>		
<b>Estado de las riberas:</b> <u>Buenas, vegetación abundante a ambos lados del puente, talud leve.</u>		
<b>Planicies de inundación:</b> <u>Existente solo aguas arriba. Aguas abajo deslinda ocn propiedad agrícola y planta industrial</u>		
<b>Presencia de desechos:</b> <u>Escombros aislados</u>		
<b>Altura de aguas:</b> <u>Profundidad 50 cm. Evidencia de altua máxima 1,5 m, quedando 2 m libres hasta el tablero</u>		
<b>Condiciones aguas arriba-abajo:</b> <u>No hay variaciones significativas, la pila no interfiere mayormente en el flujo</u>		
<b>Tipo de pilas:</b> <u>Un dado de fundación rectangular con 6 pilares rectangulares</u>		
<b>Ángulo de ataque:</b> <u>Perpendicular</u>		
<b>Disminución de sección:</b> <u>Por el dado principalmente. Estribos no estorban al cauce. Pérdida de sección mínima</u>		
<b>Evidencias de impacto y abrasión:</b> <u>Si, en dado central y estribo inicial pero con consecuencias leves</u>		
<b>Socavación del lecho:</b> <u>En estado inicial en la zona del dado de fundación. Socavación localizada directamente al lado de los bordes de la base del dado detectable mecánicamente al medir profundidad</u>		
<b>Socavación de la estructura:</b> <u>Leve en estribo inicial iniciada por el impacto. No se observa en cepa.</u>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
<u>Buen estado hidráulico. Se requiere reparar preventivamente la parte inferior del estribo inicial.</u>		
<u>No hay mayor efecto en un cauce bajo</u>		
<hr/>		
<hr/>		
<hr/>		

**Figura I-23: Inspección Hidráulica Puente 5**

Puentes:		Sistema de Gestión de Puentes		REV 1
Cod:		<b>Resumen Elementos Puentes</b>		FECHA 27.04.08
Cod Tipo:				
Código	Cantidad	Ponderación	Nota cada elemento (ICE)	ICE tipo
2401	2	4	5 4	4
2403	2	3	4 3	3
2404	14	8	4 4 5 5 5 5 4 4 4 4 5 5 5 4 4	4
2405	2	6	3 3	3
2407	5	6	3 4 4 4 3	3
2409	4	4	4 4 4 4	4
2441	2	6	4 4	4
2445	6	8	5 5 5 5 5 4	4
2448	1	8	5	5
2470	4	1	2 2 4 4	2
2474	8	2	4 4 4 4 4 4 4 4	4
2490	3	2	4 1 4	1
Cálculo ICP				
ICP estructura		3,74		SAVD  FIRMA RESPONSABLE
ICP subestructura		4,36		
ICP superestructura		3,44		
ICP complementarios		2,40		

Figura I-24: Inspección General Puentes 5

## I.2.6 Puente 6



**Figura I-25: Fotografías Puente 6**

	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <p>Conexión etribos-vigas principales deteriorados con grandes grietas.</p> <p>Apoyos de neoprén en conexión de estribos deformados y agrietados.</p> <p>Vigas principales agrietadas, en especial tramos centrales (3 centrales y extremos)</p> <p>Carpeta de rodado con baches.</p> <p>Juntas de dilatación ocluidas, muy abiertas.</p> <p>Barandas imiden mov. Relativo en juntas de dilatación</p> <p>Cepas 8, 9 y 14 presentan descenso visible en nivelación de vigas</p> <p>Barandas dañadas</p> <p>Estcurtura complementaria de luminarias con conexiones oxidadas</p> <p>Oxidación de armadura de losa y viagas principales</p> <p>Canal con desechos vegetales tapando abertura para el paso de agua en secciones 4,5 y6 desde el comienzo del puente</p>		

**Figura I-26: Deterioros puente 6**

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08			
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre:	Puente 6				
Ubicación:	Ruta F-30-E km 1				
Longitud:	185 m				
Tipo de Puente:	Puente de vigas de H.A.				
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>					
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala					
<b>1 Muy peligroso</b> <b>2 Peligroso</b> <b>3 Regular, no funciona como fue diseñado.</b> <b>4 Bueno.</b> <b>5 Muy bueno o como nuevo.</b>					
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>					
La siguiente evaluación consta de dos partes:					
1. Evaluación del entorno del puente					
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente					
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>					
	1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura I-27: Inspección Rutinaria Puente 6

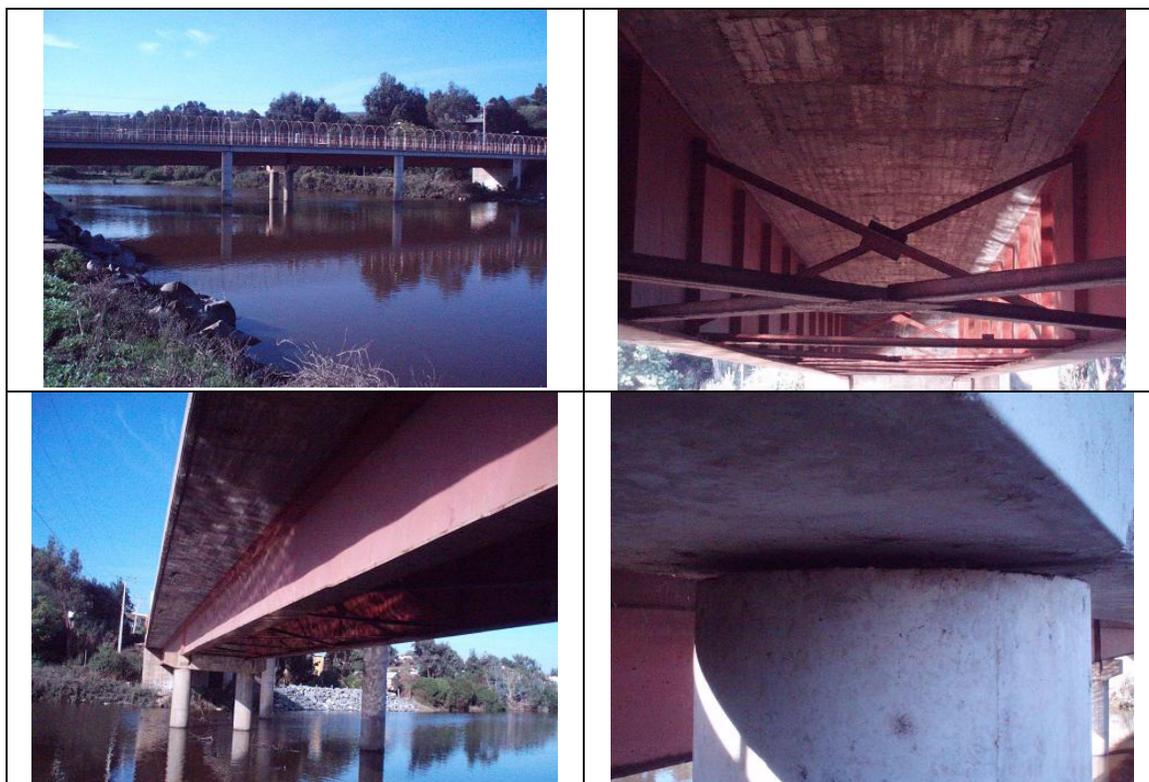
TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>		
Nombre: Punte 6	Río: Aconcagua	Largo puente: 185 m
Código del puente: f30-e-1	Inspector: SAVD	Fecha: 28-05-2008
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>		
<b>Forma del río:</b> Meandroso a trezado en general. En la zona de influencia del puente: recto-trezado No representa amenaza		
<b>Estado de las riberas:</b> Bueno, abundante vegetación. Protecciones con enrocado en zona del puente		
<b>Planicies de inundación:</b> No existen en la ribera sur. En la ribera norte existen pero corresponden al otro brazo del río en el que se encuentra el puente las gaviotas		
<b>Presencia de desechos:</b> Abundantes desechos vegetales: troncos, follaje. Obstaculiza paso del agua en zona de cepas		
<b>Altura de aguas:</b> Actualmente altura libre 3 m. Hay evidencia de que la altura ha alcanzado la cota del tablero. Marcas del agua, desechos.		
<b>Condiciones aguas arriba-abajo:</b> Aguas arriba flujo lento y ordenado, remanso por múltiples pilas. Aguas abajo flujo más rápido y turbulento por desmbocadura.		
<b>Tipo de pilas:</b> 22 pilas dobles, más cercanas an los extremos y con mayor separación al centro. Pilas de HA rectangulares		
<b>Ángulo de ataque:</b> 10° de desviación de la perpendicular		
<b>Disminución de sección:</b> Importante, remando aguas arriba, obstáculo importante al flujo, cambio en velocidad de flujo. Potenciado por desechos en el lecho		
<b>Evidencias de impacto y abrasión:</b> Si, en varias pilas, pérdida de verticalidad en pila 35 por impacto, pérdida de sección		
<b>Socavación del lecho:</b> En las riberas si, pero en el lecho no se puede observar por profundidad del agua.		
<b>Socavación de la estructura:</b> Indirectamente se observa socavación en pilas 4, 12 y 18 por pérdida de alineación en vigas superiores. En pila 12 se puede observar directamente socavación e impacto		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
La vulnerabilidad es media debido a que el río en la zona crece y se sepra en dos brazos y posee zonas adecuadas en caso de crecimiento. Sin embargo, existen evidencias de impacto, arrastre de sólidos y socavación peligrosa en pilas de la estructura. El problema se centra en el estado de conservación de la estructura y su interacción con el río que en las condiciones naturales del río. Reparar y reforzar el puente es necesario.		

**Figura I-28: Inspección Hidráulica Punte 6**

Puente:	Sistema de Gestión de Puentes			REV 1
Cod:	<b>Resumen Elementos Puente</b>			FECHA 27.04.08
Cod Tipo:				
Código	Cantidad	Ponderación	Nota cada elemento (ICE)	ICE tipo
2401	24	4	3	3
2402	2	2	3	3
2403	18	3	1	1
2404	46	8	2	2
2405	44	6	2	2
2407	20	6	2	2
2409	6	4	1	1
2440	2	6	2	2
2441	2	6	3	3
2442	2	6	1	1
2443	2	8	2	2
2446	2	8	3	3
2447	2	8	3	3
2448	2	6	3	3
2450	2	3	4	4
2470	2	3	1	1
2473	2	3	2	2
2474	2	3	2	2
2475	2	2	2	2
2477	2	3	3	3
2478	2	3	3	3
2479	2	1,5	1	1
2483	2	1	4	4
2487	2	2	4	4
2490	2	3	1	1
Cálculo ICP				
ICP estructura		2,29		SAVD  FIRMA RESPONSABLE
ICP subestructura		2,55		
ICP superestructura		1,97		
ICP complementarios		2,18		

Figura I-29: Inspección General Puente 6

### I.2.7 Puente 7



**Figura I-30: Fotografías Puente 7**

	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <p>Puente en excelente estado</p> <p>Daños en barandas livianas del puente</p> <p>Sistema de drenaje de los estribos tapado por vegetación</p> <p>Existen evidencias de socavación en la ribera norte aguas abajo del puente. Se debe extender el enrocado</p> <p>Fuerte aumento del caudal con lluvias. Evidencias de altura de aguas a nivel de tablero</p> <p>Arrastre de vegetación, acumulación de desechos a la altura de los pilotes.</p>		

**Figura I-31: Deterioros puente 7**

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08			
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre:	Puente 7				
Ubicación:	Ruta F-30-E Km 39				
Longitud:	75 m				
Tipo de Puente:	Vigas de acero				
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>					
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala					
1 <b>Muy peligroso</b>					
2 <b>Peligroso</b>					
3 <b>Regular, no funciona como fue diseñado.</b>					
4 <b>Bueno.</b>					
5 <b>Muy bueno o como nuevo.</b>					
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>					
La siguiente evaluación consta de dos partes:					
1. Evaluación del entorno del puente					
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente					
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>					
	1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura I-32: Inspección Rutinaria Puente 7

TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>		
Nombre: <b>Puente 7</b>	Río: <b>Estero Catapilco</b>	Largo puente: <b>75 m</b>
Código del puente: <b>F30E39</b>	Inspector: <b>SAVD</b>	Fecha: <b>30-05-2008</b>
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>		
<b>Forma del río:</b> <u>Meandroso. Estero formas S en su camino pasando de un lado a otro del camino continuamente. Múltiples afluentes</u>		
<b>Estado de las riberas:</b> <u>Bien aguas arriba. Aguas abajo muestras de inundación y transporte de material vegetal en ribera sur. Muestras de socavación en ribera norte</u>		
<b>Planicies de inundación:</b> <u>Amplia y con vegetación ribera sur aguas arriba, se mantiene aguas abajo pero con menos vegetación y presnta intervención y asentamientos humanos</u>		
<b>Presencia de desechos:</b> <u>Vegetales en zona de los pilotes.</u>		
<b>Altura de aguas:</b> <u>Actualmente 2,5 m altura libre. Evidencias de haber alcanzado altura de tablero. Marcas en hormigones de losa</u>		
<b>Condiciones aguas arriba-abajo:</b> <u>No existe un efecto importante del río en el flujo aguas arriba-abajo</u>		
<b>Tipo de pilas:</b> <u>Puente vehicular con 1 pila central doble. Pilotes al estrato rocoso de forma cilíndrica</u> <u>Puente peatonal paralelo presenta 4 pilotes de HA cilíndricos.</u>		
<b>Ángulo de ataque:</b> <u>30° desviado de la perpendicular.</u>		
<b>Disminución de sección:</b> <u>Mínima por las pilas p del puente vehicular, algo mayor por el estribo norte y en especial por las 4 pilas del puente peatonal</u>		
<b>Evidencias de impacto y abrasión:</b> <u>En la cepa si se distingue impacto pero sólo con efectos superficiales.</u> <u>Evidencia de impacto en la principal aguas arriba y en el tablero.</u>		
<b>Socavación del lecho:</b> <u>No se aprecia</u>		
<b>Socavación de la estructura:</b> <u>No. Buen estado de pilas y estribos.</u>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
<u>Excelente estado hidráulico. Riesgo de que el nivel de agua alcance el tablero latente por especial periodicidad del estero. Se recomienda monitoreo y sistema de alerta temprana ante temporales.</u>		

**Figura I-33: Inspección Hidráulica Puente 7**

Puente:	Sistema de Gestión de Puentes		REV 1	
Cod:	<b>Resumen Elementos Puente</b>		FECHA 27.04.08	
Cod Tipo:				
Código	Cantidad	Ponderación	Nota cada elemento (ICE)	ICE tipo
2401	2	4	4 5	4
2402	2	2	5 5	5
2403	3	3	3 5 5	3
2404	4	12	4 5 5 5	4
2405	8	9	4 4 4 5 4 3 4 5	3
2407	8	9	4 5 5 4 5 5 4 5	4
2409	6	4	5 5 5 5 5 4	4
2441	2	6	4 5	4
2444	2	8	5 5	5
2446	1	6	5	5
2448	1	8	4	4
2451	2	2	5 3	3
2470	6	3	2 4 4 4 4 4	2
2474	6	3	4 5 5 4 4 4	4
2478	4	3	4 5 2 4	2
2479	3	1,5	5 4 5	4
2483	1	2	5	5
2487	2	2	5 5	5
2490	3	3	4 4 5	4
Cálculo ICP				
ICP estructura		3,93		SAVD  FIRMA RESPONSABLE
ICP subestructura		4,40		
ICP superestructura		3,77		
ICP complementarios		3,54		

Figura I-34: Inspección General Puente 7

### I.2.8 Puente 8



**Figura I-35: Fotografías Puente 8**

	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>	REV 1 FECHA 07.04.08
<b>IDENTIFICACION DE PROBLEMAS</b>		
<p>Deterioros observados: identificar tipo de daño, elemento en que se presenta, observaciones, fotografías asociadas.</p> <p>AGRIETAMIENTO EN VIGA DE EMPUJE. ESTRIBO SECTOR PONIENTE CON GRIETAS Y PROBLEMAS DE DRENAJE EN TERRAPLÉN SUPERIOR DE ACCESO</p>		

**Figura I-36: Deterioros puente 8**

TM-03	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Rutinaria</b>		REV 1 FECHA 07.04.08		
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>					
Nombre:	Puente 8				
Ubicación:	Ruta e-46 km 8				
Longitud:	5 m				
Tipo de Puente:	Alcantarilla super span				
<b>ESCALA DE EVALUACIÓN</b>					
El Grado de Daño debe ser evaluado de acuerdo a la siguiente escala					
1 <b>Muy peligroso</b>					
2 <b>Peligroso</b>					
3 <b>Regular, no funciona como fue diseñado.</b>					
4 <b>Bueno.</b>					
5 <b>Muy bueno o como nuevo.</b>					
<b>ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN</b>					
La siguiente evaluación consta de dos partes:					
1. Evaluación del entorno del puente					
2. Evaluación de los deterioros de las partes del puente					
<b>ENTORNO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
1. Flujo de agua bajo la estructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Socavación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Canal, taludes, obras complementarias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO POR GRUPO DE ELEMENTOS</b>					
	1	2	3	4	5
1. Subestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Superestructura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Elementos complementarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>GRADO DE DAÑO DEL PUENTE</b>					
	1	2	3	4	5
Grado de Daño del Puente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura I-37: Inspección Rutinaria Puente 8

TM-05	Sistema de Gestión de Puentes <b>Ficha de Inspección Hidráulica</b>	REV 1 FECHA 09.04.08
<b>DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>		
Nombre: Puento 8	Río: Canal Estero Catapilco	Largo puente: 5 m
Código del puente: E46-8	Inspector: SAVD	Fecha:
<b>EVALUACION DE ELEMENTOS</b>		
<b>Forma del río:</b> <u>Recto. Canal provenivnete de zona regadío desembocando en estero catapilco</u>		
<b>Estado de las riberas:</b> <u>Sin evidencias de socavación ni arrastre de material. Protegidas por capa vegetal y enrocado que dirige el flujo</u>		
<b>Planicies de inundación:</b> <u>Existente aguas abajo. Amplias, desprovistas de vegetación.</u>		
<b>Presencia de desechos:</b> <u>Restos de vegetación agauas abajo y arriba</u>		
<b>Altura de aguas:</b> <u>10-30 cms. No hay evidencias de haber alcanzado más de 1 m de altura. Gálibo: 2,5 m</u>		
<b>Condiciones aguas arriba-abajo:</b> <u>No hay remanso ni problemas hidráulicos a ningún lado de la estructura</u>		
<b>Tipo de pilas:</b> <u>Losa de fundación, no interfiere en el flujo por ser un canal.</u>		
<b>Ángulo de ataque:</b> <u>Perpendicular al flujo guiado.</u>		
<b>Disminución de sección:</b> <u>Mínima para el flujo observado</u>		
<b>Evidencias de impacto y abrasión:</b> <u>Sólo de elementos vegetales sin consecuencias.</u>		
<b>Socavación del lecho:</b> <u>No.</u>		
<b>Socavación de la estructura:</b> <u>No</u>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
<u>Excelente estado. Despejar restos vegetales para evitar peligro en crecida. Importante mantener el enrocado en buen estado ya que se altera el cauce natural del canal.</u>		

**Figura I-38: Inspección Hidráulica Puento 8**

Puentes:		Sistema de Gestión de Puentes		REV 1
Cod:		<b>Resumen Elementos Puentes</b>		FECHA 27.04.08
Cod Tipo:				
Código	Cantidad	Ponderación	Nota cada elemento (ICE)	ICE tipo
2501	1	4	5	5
2505	1	3	5	5
2506	2	8	5	5
2541	2	6	5 4	4
2542	4	6	5 5 5 4	4
2544	1	4	5	5
2545	2	6	5 5	5
2546	2	4	5 5	5
2547	1	6	4	4
2573	2	2	5 5	5
2578	6	1	5 5 5 5 5 5	5
2579	3	1	5 5 5	5
2587	4	2	5 5 5 5	5
				0
				0
				0
				0
<b>Cálculo ICP</b>				
ICP estructura		4,66		SAVD  <b>FIRMA RESPONSABLE</b>
ICP subestructura		4,44		
ICP superestructura		4,71		
ICP complementarios		5,00		

Figura I-39: Inspección General Puentes 8

### I.3 Resultados de la inspección

Para los puentes inspeccionados se calculó la importancia estratégica de cada estructura. Los resultados se observan en la siguiente tabla:

**Tabla I-1: Importancia Estratégica de los puentes inspeccionados**

N°	Nombre	Ruta	Km	Tránsito	Alternativas	Entorno SEconómico	Ancho	Largo	Restricciones	Importancia Estratégica
1	Puente 6	60-Ch	1	5	4	5	5	4	5	4,6
2	Puente 4	60-Ch	12	5	4	5	1	1	5	3,8
3	Puente 1	60-Ch	25	5	5	5	1	2	5	4,2
4	Puente 7	60-Ch	38	5	3	3	3	4	5	3,8
5	Puente 5	60-Ch	40	5	3	3	3	1	5	3,4
6	Puente 3	F-30-E	1	5	4	5	1	4	5	4,2
7	Puente 2	E-46	7	3	2	1	5	1	5	2,5
8	Puente 8	F-30-E	18	3	3	3	1	3	3	2,8

Los resultados de las inspecciones y el cálculo de la importancia estratégica se utilizaron para calcular el Índice combinado de cada puente. El riesgo sísmico fue calculado según la metodología planteada utilizando una plataforma desarrollada por Risko, empresa de diseño y gestión de proyectos estructurales. Los resultados se observan en la Tabla I-2.

**Tabla I-2: Índice Combinado del Puente IP. Puentes inspeccionados V Región**

N°	Nombre	Ruta	Km	ICP	VH	RS	IE	IP	Conservación
1	Puente 6	F-30-E	1	2,29	3	1	4,2	2,6	Refuerzo, Limitación y E. Adicionales
2	Puente 4	60-Ch	38	3,06	5	3	3,8	6,2	Reparación y E. Adicionales
3	Puente 1	60-Ch	1	s/i	3	3	4,6	6,3	Reparación y E. Adicionales
4	Puente 7	F-30-E	18	3,93	4	2	2,8	6,5	Reparación y E. Adicionales
5	Puente 5	60-Ch	40	3,74	4	4	3,4	7,0	Reparación
6	Puente 3	60-Ch	25	3,97	5	3	4,2	7,3	Reparación y E. Adicionales
7	Puente 2	60-Ch	12	4,56	N/A	5	3,8	7,6	Mantenimiento Rutinaria y Estudios Adicionales
8	Puente 8	E-46	7	4,66	5	4	2,5	9,3	Mantenimiento Rutinaria

Los resultados reflejan que la mayoría de los puentes de la red analizada se encuentra en buen estado. El puente 6 es el de peor estado, debido a un elevado deterioro, riesgo sísmico y una alta importancia estratégica. En contraparte, el puente 8 tiene el mejor índice combinado: buen estado, bajo riesgo e importancia estratégica.