

## Vida útil de un puente. Algunas consideraciones prácticas para su determinación

Useful life of a bridge.

Some practical considerations for its determination

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

José Bellido de Luna<sup>1</sup>

Historial del  
artículo:

Recibido  
14-11-2023  
Aceptado  
16-04-2024  
Publicado  
25-08-2024

Palabras Clave:  
Puentes  
Vida Útil  
Diagnóstico  
Desempeño  
Refuerzo  
Rehabilitación

Article history:

Received  
14-11-2023  
Accepted  
16-04-2024  
Available  
25-08-2024

Keywords:  
Bridges  
Service Life  
Diagnosis  
Performance  
Reinforcement  
Rehabilitation

### Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una metodología para ser empleada en la determinación de la Vida Remanente de un puente a través del concepto de "Vida Útil", de modo tal, que el especialista encargado de realizar esta evaluación tenga en cuenta todos los parámetros que le permitan tomar la decisión más adecuada al momento de realizar una intervención en una determinada estructura. Específicamente en Chile existen aproximadamente 6600 puentes de carretera en explotación y 542 puentes concesionados, muchos de los cuales han alcanzado una parte significativa de su VIDA ÚTIL, por lo que requerirán un diagnóstico certero, que permita definir su situación estructural y, en consecuencia, programar y desarrollar un plan de gerenciamiento efectivo de mantenimiento y rehabilitación. El envejecimiento de los puentes existentes, el incremento de las cargas y del tránsito vehicular, la acción de los fenómenos naturales y los cambios normativos hacen necesaria la evaluación y el diagnóstico de los puentes existentes, para decidir su VIDA ÚTIL REMANENTE, y como resultado de ello, definir si una determinada estructura deberá ser reparada, rehabilitada o simplemente demolida. La metodología que se presenta está basada principalmente en lo indicado en el documento ISO 16311 (2014) "Mantenimiento y Reparación de Estructuras de Hormigón" que la hemos hecho extensiva a cualquier materialidad y particularizándola al caso específico de los puentes y de nuestro país, que tiene características muy particulares en cuanto a los fenómenos naturales, situación geográfica y normativa vigente. La metodología es válida para puentes de carreteras y de ferrocarril.

### Abstract

The purpose of this paper is to propose a methodology to be used to determine the Remaining Life of a bridge through the concept of "Useful Life", so that the specialist in charge of making this assessment takes into account all the parameters that will allow him to make the most appropriate decision at the time of carrying out an intervention in a given structure. Specifically in Chile there are approximately 6600 road bridges in operation and 542 concessioned bridges, many of which have reached a significant part of their useful life, so they will require an accurate diagnosis, which allows to define their structural situation and, consequently, to program and develop an effective management plan for maintenance and rehabilitation. The aging of existing bridges, the increase of loads and vehicular traffic, the action of natural phenomena and regulatory changes make necessary the evaluation and diagnosis of existing bridges, in order to decide their REMINANT USEFUL LIFE, and as a result, to define whether a given structure should be repaired, rehabilitated or simply demolished. The methodology presented is mainly based on what is indicated in the document ISO 16311 (2014) "Maintenance and Repair of Concrete Structures" that we have made it extensive to any materiality and particularizing it to the specific case of bridges and our country, which has very particular characteristics in terms of natural phenomena, geographical situation and current regulations. The methodology is valid for road and railroad bridges.

\* Corresponding author at: José Bellido de la Luna, Comité de Puentes. Subcomité de Mantenimiento, Consultora BDL Soluciones Estructurales, SpA., Santiago, Chile. E-mail address; jbellido@bdl.cl

**RIOCI**

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/index>

Vol. 12, no. 02, pp. 1–7, Agosto 2024

## 1. Introducción.

El programa de gestión y mantenimiento de puentes es una tarea que está siendo abordada por la gran mayoría de los países, dada la gran cantidad de puentes que tienen bajo su responsabilidad. Hoy día es mucho más frecuente la necesidad de decidir entre rehabilitar, reforzar o demoler una determinada estructura, que diseñar obras nuevas.

Chile es un país con una larga tradición de puentes, muchos de los cuales están próximos a cumplir 150 años de construcción. Son estructuras que han estado sometidas a importantes eventos sísmicos, grandes inundaciones, cambios considerables de peso y distribución de cargas y hoy continúan prestando ese valioso servicio, mantener la comunicación a todo lo largo de nuestro país, sin embargo no existe una metodología clara, precisa y uniforme que permita a los involucrados en el tema tomar decisiones basadas en criterios mundialmente establecidos que les permita justificar, desde el punto de vista técnico y económico, la mejor decisión a adoptar ante cada situación real que se presenta.

Los estudios referidos a este tema deberán ser realizados a la brevedad y las normativas, que de ellos se deriven, deberán aplicarse cotidianamente y de un modo uniforme en todo el territorio nacional.

La metodología que se presenta en este trabajo es la base para una simplificación de lo indicado en el documento ISO 16311 (2014) "Mantenimiento y Reparación de Estructuras de Hormigón", que está dirigida a todo tipo de estructuras de hormigón para que pueda ser particularizados al caso específico de los puentes y generalizado para todo tipo de estructuras.

Es importante destacar que lo que en este trabajo se expone debe ser tomado como un punto de partida para que los organismos involucrados en la actividad desarrollen los documentos y normativas necesarias para regular y uniformar el vacío actual que hoy existe en este tema.

En el capítulo dedicado la metodología se presentan las definiciones básicas necesarias para entender el tema a tratar, a continuación, se muestran las relaciones entre los conceptos que permiten realizar la evaluación del desempeño de la estructura, los posibles escenarios que se generan a partir de la evaluación realizada y se muestran los factores que los afectan. A continuación, se muestran las posibles acciones a considerar y se detallan las consideraciones que se deben tener al momento de decidir la demolición de una estructura.

## 2. Metodología

### 2.1 Definiciones Básicas.

Antes de proceder a desarrollar el tema es importante conocer determinadas definiciones básicas que son de uso general en el ámbito de los estudios de Vida Útil referidos a cualquier objeto.

- **Vida Útil de un puente:** La vida útil de un puente se refiere al período de tiempo durante el cual se espera que la estructura cumpla su función de manera segura y eficiente. En otras palabras, es la duración estimada en la que el puente puede operar sin una degradación significativa en su capacidad de carga y resistencia. Es el tiempo, a partir del cual es indispensable realizar una acción sobre la estructura, de modo tal, que la misma pueda recuperar el estado de serviceabilidad para el cual fue concebida y continuar prestando un servicio completo, eficiente y seguro.
- **Vida Residual de un puente:** Se define como el tiempo que le resta a una estructura para alcanzar su vida útil.
- **Sistema de puente:** Es la estructura del puente como tal, conformado por los dos subsistemas básicos: la subestructura y la superestructura, ambos combinados para formar el sistema de puente completo.
- **Subsistema de un puente:** Son los dos componentes principales de un puente, formados a partir de la combinación de cada uno de los elementos individuales que los conforman, que realizan funciones completamente diferenciadas. El subsistema superestructura tiene la función de resistir la acción directa de las cargas y transmitirlas "discretamente" al subsistema de la subestructura, que realiza la función de recibir estas cargas discretizadas a través de los aparatos de apoyo y transmitirlas al terreno.
- **Elementos de un puente:** Son los miembros individuales que conforman los dos subsistemas del puente. En el subsistema de la superestructura son: las vigas principales, travesaños, largueros, juntas de dilatación, arriostramientos, etc. En el subsistema de subestructura son: los aparatos de apoyo, estribos, cepas y fundaciones.
- **Rehabilitación:** Cuando en una estructura se realiza la reparación o restitución de un elemento o un subsistema, llevándolo a sus condiciones originales de diseño, que le permite alargar la vida útil al sistema como un todo, verificándose que, en estas condiciones, cumple con la normativa vigente al momento de la intervención.
- **Reforzamiento:** Cuando la intervención que se le realiza a una estructura supera los estándares originales para los cuales fue diseñada, que le permiten cumplir con la

normativa vigente y alargar su vida útil. El reforzamiento de un puente puede realizarse aun cuando no se observen signos de deterioro.

La Figura 1 muestra el puente “El Tequel” ubicado en la VII Región, que se encuentra al final de su vida útil, justo en el momento en el cual ya no es capaz de cumplir la función para la cual fue concebido, y por tanto, es indispensable realizar una intervención que permita mantener la conectividad de la carretera a la que pertenece. La intervención puede ser una rehabilitación, un reforzamiento o decididamente su demolición.



**Figura 1.** Puente El Tequel, ubicado en la ruta M – 180. Latitud -36.114024, Longitud. -72.319560. Foto del Autor.



**Figura 2.** Vigas y estribos del puente “El Tequel”, Latitud -36.114024, Longitud. -72.319560. Foto del Autor.

En la Figura 1 se aprecia un fallo total del elemento “losa” perteneciente al subsistema superestructura, que a su vez hace fallar todo el sistema conformado por el puente. Sin embargo, la Figura 2 muestra la parte inferior del puente, donde las vigas pertenecientes a la superestructura y el estribo, al parecer, se encuentran en perfectas condiciones, por lo que, en este caso, podría ser posible extender su vida útil mediante un reemplazo del elemento losa acompañado de una rehabilitación o reforzamiento del resto de los elementos, en caso de ser necesario.

En el caso del ejemplo mostrado, si la losa se reconstruye de otra materialidad de mayor duración como podría ser de

hormigón, por ejemplo, la intervención sería un reforzamiento propiamente dicho.

#### 2.1.1. Relación entre vida útil y vida residual de un puente.

Existen varias relaciones básicas entre la vida útil de los elementos, los subsistemas y los sistemas del puente y la vida útil del diseño del puente. A continuación, se describen estas relaciones:

- La predicción de vida útil de los sistemas de puentes se logra al predecir la vida útil de sus elementos y subsistemas.
- La vida útil de un elemento, subsistema o sistema de puente determinado podría ser mayor que la vida útil de diseño objetivo del sistema de puente siempre que se logre que el puente como sistema continúe proporcionando la función deseada.
- La vida útil de un elemento, subsistema o sistema de un puente finaliza cuando ya no es económico o factible repararlo o actualizarlo, y la única opción restante es reemplazarlo.
- La vida útil de un sistema de puente finaliza cuando no es posible reemplazar o actualizar uno o más de sus elementos o subsistemas.
- La vida útil de un sistema de puente se rige por la vida útil de sus elementos y subsistemas críticos. Los elementos o subsistemas críticos del puente se definen como aquellos necesarios para que el puente como un sistema sea capaz de proporcionar su función prevista completa, eficiente y segura.
- El final de la vida útil de un elemento o subsistema de puente no significa necesariamente el final de la vida útil del sistema de puente, siempre que estos puedan ser reemplazados o actualizados.
- Un elemento o subsistema de puente dado puede reemplazarse o modernizarse y, de este modo, alargar la vida útil del sistema.

Las relaciones anteriores pueden resumirse en la figura N°3 donde se muestra el gráfico de desempeño de un puente con respecto a las actuaciones que sobre él se pueden realizar:



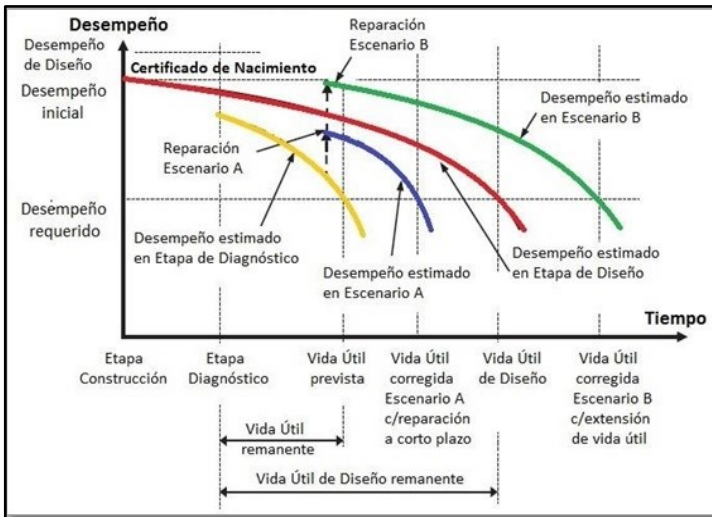


Figura 3. Gráfico de Desempeño vs Tiempo indicando los rangos de Vida útil.

En el gráfico de la Figura 3 se muestra el deterioro paulatino de la estructura en una condición natural de envejecimiento con la consecuente disminución del nivel del desempeño esperado a partir de las condicionales de diseño de la obra (curva roja). Transcurrido un determinado período, se le realiza una Inspección y Diagnóstico asociado y se detecta un deterioro superior al estimado, por lo que su curva de desempeño estimado cambia (curva amarilla), es este caso la vida útil se verá reducida con respecto a la estimada en la etapa de diseño (cruce de curva roja y amarilla con Nivel de Desempeño requerido). A partir de este punto se pueden tomar dos decisiones:

- Escenario A: Se reparan con un criterio cortoplacista solamente aquellos daños detectados en el diagnóstico realizado con la consecuente disminución de su vida útil (Escenario A curva azul).
- Escenario B: Se realiza una rehabilitación exhaustiva, en la cual la estructura cumple con la normativa vigente al momento de la intervención, extendiéndose de este modo la Vida Útil original del sistema. (curva verde).

Un Sistema de Gerenciamiento de Inspección y mantención adecuada de puentes permite reproducir el escenario B infinitamente.

El Escenario A es representado en la Figura 4 Izquierda. En una inspección realizada al puente que se muestra en la figura se detectó una considerable oxidación que se producía prácticamente en todos sus apoyos.

En la misma visita de inspección se observó que, al parecer, este fenómeno había sido detectado con mayor ocurrencia en otros apoyos y había sido consecuentemente “reparado”. La Figura 4 Derecha, muestra la reparación realizada. En ella se decidió colocar trozos de rieles para cubrir la pérdida de sección de los elementos. Es evidente que tal actuación no solo era

inadecuada, sino limitaría aún más la vida útil del elemento, y dada la importancia de este, de todo el sistema del puente.

Es importante destacar que, al momento de la visita, el puente mostrado estaba cerrado al tránsito, es decir, había concluido su vida útil.



Figura 4. Izquierda, Muestra el grado de oxidación de la viga principal del puente sobre el apoyo. Derecha, muestra la reparación realizada en otro apoyo, al parecer debido a la misma situación. Foto del autor.

## 2.2. Relación entre vida útil y vida residual de un puente.

La vida útil de un puente depende de varios factores, como el diseño estructural, los materiales utilizados, la calidad de la construcción, el mantenimiento regular y las condiciones ambientales a las que está expuesto. Un puente bien diseñado, construido y mantenido adecuadamente puede tener una vida útil de varias décadas o incluso más.

Es importante tener en cuenta que la vida útil de un puente no es una medida exacta, ya que puede variar según las circunstancias. Las condiciones climáticas extremas, la ocurrencia de fenómenos ambientales como los sismos, el aumento del tráfico y las cargas, entre otros, pueden reducirla considerablemente.



Figura 5. Imagen del puente ferroviario sobre el Río Cautín colapsado por socavación de uno de sus apoyos debido a la crecida del Río.

La Figura 5 muestra la estructura del puente Cautín cuya vida útil fue afectada por la falla de uno de sus apoyos, en este caso, luego de un profundo estudio y evaluación, se decidió la demolición de este y la construcción de uno completamente nuevo.

### 2.3. Opciones por considerar ante la detección de una determinada afectación en un elemento, subsistema o sistema de puente.

Retomando la figura N°3, si en una de las etapas de diagnóstico se detecta una determinada afectación o fallo en algunos de sus elementos, subsistemas o sistema del puente en general, se deberán considerar diferentes acciones para llevar a cabo el procedimiento de intervención de la estructura.

Entre las acciones por considerar podrían establecerse las siguientes:

#### 2.3.1 No hacer nada durante un cierto tiempo mientras se monitorea la estructura.

Esta acción solo deberá tomarse cuando la afectación detectada no se encuentra en un elemento que resulte vital para el buen funcionamiento y seguridad de la estructura, o bien cuando, a juicio del profesional encargado de la inspección, se requieran nuevos antecedentes para tomar una decisión más acertada acerca del alcance de la intervención.

#### 2.3.2 Analizar la capacidad estructural existente teniendo en cuenta las afectaciones observadas.

Esta acción deberá además considerar el análisis por Vida residual del Sistema en su totalidad.

#### 2.3.3 Prevenir o reducir un mayor deterioro.

Esta acción deberá realizarse cuando la afectación es incipiente y se detecta la posibilidad de que la misma pueda ser detenida con una simple acción. Por ejemplo, en el nivel de la afectación detectada la Figura 4 Izquierda se recomendaría una simple pintura y una solución para que no continúe acumulándose agua en la zona afectada.

#### 2.3.4 Reforzar o reparar y proteger total o parcialmente el elemento afectado.

Esta acción se deberá realizar cuando la afectación detectada sea de un nivel medio y corresponda a un único elemento. Un ejemplo de esta actuación se muestra en la Figura 6, correspondiente al puente Mantos Blancos, que fue impactado por un camión conduciendo un container que cortó una vaina con siete cables postensados además de una serie de estribos de confinamiento.



Figura 6. Paso Inferior Mantos Blancos ubicado entre el km 1.404,7 y km 1.406,6 de Ruta 5 Norte. Foto Concesionaria "Autopistas de Antofagasta".

La Figura 7 muestra la actuación realizada que consideró la realización de un postensado exterior y una reparación con fibra de carbono para reponer los estribos dañados. Esta intervención solo restituye la condición original del puente. En este caso se considera una rehabilitación.

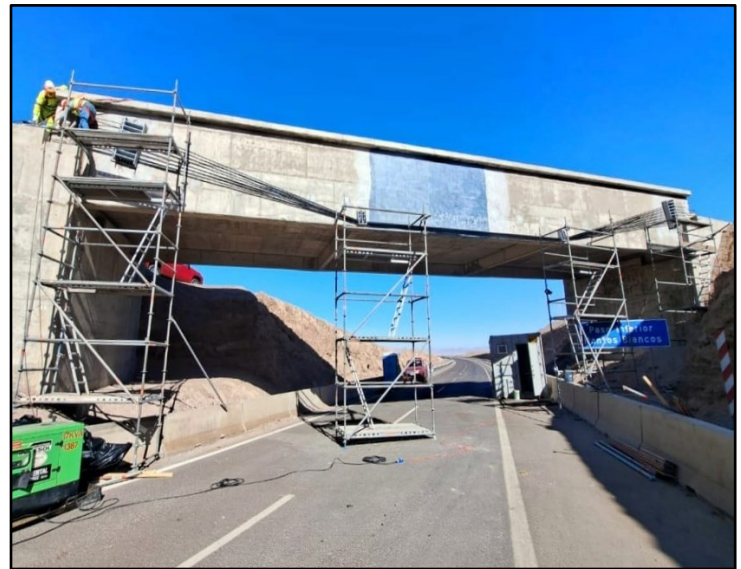


Figura 7. Detalle de postensado exterior y reparación con fibra de carbono. Proyecto elaborado por el autor. Foto VSL Sistemas Especiales de Construcción.

#### 2.3.5 Reconstruir total o parcialmente el elemento o subsistema afectado.

Esta actuación se realiza cuando la afectación es de un nivel medio que aun permite la recuperación del elemento o subsistema afectado. En la Figura 8 se muestra el puente Tabolguén, cuya superestructura de madera aún puede ser reparada sustituyendo algunos elementos y especificando una protección general que permita alargar la vida útil del subsistema.





**Figura 8.** Puente Tabolguén. Ubicado en la carretera M- 820. Latitud -35.914103. Longitud -72.406336.

En este caso también estamos en presencia de una rehabilitación, es decir en el puente restituye la situación original de este.

### 2.3.6 Demoler total o parcialmente la estructura afectada y construir una nueva.

La decisión de demoler un puente se toma en situaciones en las que el puente presenta daños estructurales graves, no es posible rehabilitarlo o reforzarlo de manera efectiva y segura, y construir un nuevo puente se considera la opción más viable. Algunos casos en los que se puede considerar la demolición de un puente incluyen:

1. Daños irreparables: Si el puente ha sufrido daños extensos, como colapsos parciales o fallas estructurales graves, que lo hacen inseguro e inviable para su reparación.
2. Obsolescencia: Si el puente se ha vuelto obsoleto debido a cambios en los requisitos de diseño, normativa vigente, capacidad de carga o requisitos de seguridad, y no es factible o económico actualizarlo o adaptarlo.
3. Cambios en la infraestructura: Si se realizan cambios en el trazado de carreteras, ríos o ferrocarriles, y el puente ya no permite mantener la conectividad o el flujo de tráfico.
4. Costos de mantenimiento excesivos: Si el costo de mantener y reparar continuamente el puente supera significativamente el costo de construir una nueva

estructura, la demolición y la construcción de un nuevo puente es la opción más rentable a largo plazo.

Es importante destacar que la decisión de demoler un puente se tome después de una evaluación exhaustiva realizada por ingenieros estructurales y expertos en puentes, teniendo en cuenta factores técnicos, económicos, de seguridad y medioambientales.

Un ejemplo de demolición de un puente teniendo en cuenta el punto N°3 puede observarse en la Figuras 9 y 10 correspondientes al puente sobre el Río El Pescado ubicado en la Región de Los Lagos.



**Figura 9.** Tablero del Puente El pescado N° 2 ubicado en el km 5,84 de la Ruta V-613. El ancho total del tablero es de 4,8 m con un ancho de calzada de 3,6 m y dos pasillos de 0,6m. Foto del autor.



Figura 10. Elevación del Puente El Pescado N°2. Longitud 25 m.

En la Figura 10 puede observarse la distancia entre el fondo de viga y el lecho del río, así como la situación estructural del estribo. El puente corresponde a la situación actual de la vía que está siendo rediseñada para un tránsito de 70 km/hora y dos vías, incluyendo una ciclovía, cuya sección transversal proyectada se presenta en la Figura 11. La decisión de demolición de la estructura y su sustitución por otra completamente nueva que cumpla con la normativa vigente e incluya además un estudio hidráulico adecuado es evidente.

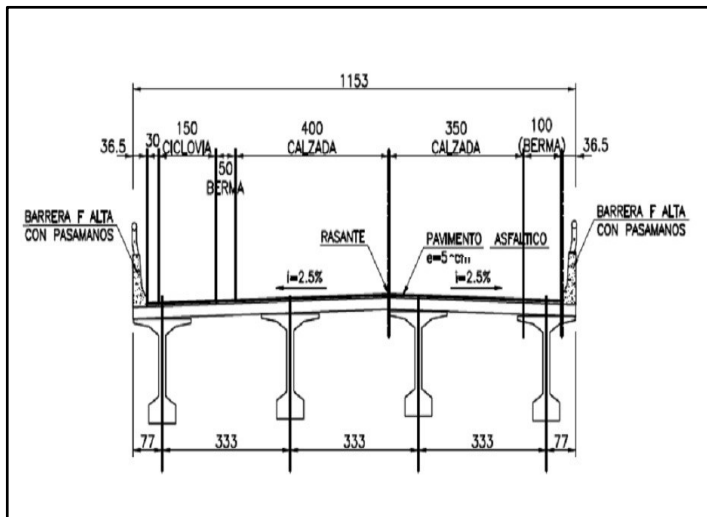


Figura 11. Proyecto Puente El Pescado N° 2.

Cada una de las acciones anteriores genera un cambio diferente en el gráfico de desempeño Vs tiempo y consecuentemente en los tiempos de Vida Útil de la estructura. También cada una de ellas se encuentra asociada a un determinado costo, que contribuye a la definición de la acción respectiva por tomar.

### 3. Análisis de resultados

La metodología expuesta ha sido validada en el análisis de 67 puentes ferroviarios de EFE en cuyo estudio se determinó la vida útil residual de estos puentes. Como resultado de esos estudios, otros de mayor envergadura e investigaciones y ensayos asociados, se ha reforzado y rehabilitado numerosos puentes de Ferrocarril, siendo uno de los más relevantes el reforzamiento de las cepas del puente Talagante, entre otros.

En el puente Manuel Rodríguez perteneciente a la ruta 78, se han realizado también numerosos estudios donde se ha aplicado la metodología expuesta con diversos resultados, que han llevado a diferentes acciones de reforzamiento, y propuestas de demolición que están siendo estudiadas por la nueva sociedad concesionaria que administra esta estructura.

Los estudios relacionados con la vida útil de los puentes aún son

incipientes y deberán ser abordados a la brevedad, por cuanto constituyen un factor primordial en la elaboración de un programa de gerenciamiento y mantención de los puentes existentes.

### 4. Conclusiones

Este trabajo analizó algunos aspectos referidos a la Vida Útil de los puentes y estuvo basado principalmente en normativas vigentes en otros países y experiencias prácticas del autor, pudiendo concluirse que:

- **Conclusión 1.** La Vida Útil de un puente es un factor que, no solo deberá ser considerado desde la etapa de diseño, sino que deberá actualizarse toda vez que se realicen actuaciones sobre él, cambien o no las condiciones de resistencia, seguridad o funcionamiento de alguno de sus componentes.
- **Conclusión 2.** Para un adecuado estudio de Vida Útil de un puente deben tenerse claramente establecidos los conceptos de elemento, subsistema y sistema de puente.
- **Conclusión 3.** Existen múltiples decisiones por tomar al momento de realizar la intervención de un puente, las que deben ser analizadas por especialistas competentes que sean capaces de decidir la mejor intervención por realizar.
- **Conclusión 4.** La decisión de demolición de una estructura tiene que venir asociada a un estudio y análisis que justifique, tanto económica, como funcionalmente, la solución adoptada.
- **Conclusión 5.** Las autoridades chilenas deberán establecer una normativa que regule, además del proceso de diseño de los puentes teniendo en cuenta la "Vida útil esperada", los procedimientos a seguir para definir posibles actuaciones por realizar ante un determinado evento, así como los criterios a tener en cuenta en el caso que se tome la decisión de una demolición.