



## **Metodología de inspección y evaluación de puentes y pontones**

Víctor Junior Vallejo Diaz

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Carlos Alberto Riveros Jerez, Dr.Eng. en Ingeniería Civil.

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Civil  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2023

---

Cita

(Vallejo V, 2023)

---

**Referencia**

Vallejo Diaz, V. J., & Riveros Jerez, C. A. (2023). Metodología para la inspección y evaluación de puentes y pontones. [Informe de práctica]. Universidad de

**Estilo APA 7 (2020)**

Antioquia, Medellín, Colombia.

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio Cesar Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Claudia Helena Muñoz.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

---

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....  | 8  |
| Abstract.....  | 9  |
| Introducción.....  | 10 |
| 1. Objetivos .....   | 11 |
| 1.1. Objetivo general .....  | 11 |
| 1.2. Objetivos específicos.....  | 11 |
| 2. Marco teórico .....   | 12 |
| 2.1. Patología.....  | 16 |
| 2.1.1. Fisuras.....  | 16 |
| 2.1.2. Asentamientos .....   | 22 |
| 2.1.3. Volcamiento .....   | 22 |
| 2.1.4. Hormigueros .....   | 22 |
| 2.1.5. Segregación: .....  | 23 |
| 2.1.6. Juntas frías:.....  | 23 |
| 2.1.7. Desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo ..... | 23 |
| 2.1.8. Infiltración y eflorescencias.....                                    | 24 |
| 2.1.9. Carbonatación.....  | 25 |
| 2.1.10. Corrosión del acero de refuerzo.....                                 | 26 |
| 2.1.11. Contaminación de concreto .....                                      | 27 |
| 2.1.12. Daños por impacto .....  | 28 |
| 2.1.13. Desgaste y erosión .....   | 28 |
| 2.1.14. Fatiga .....   | 29 |
| 2.1.15. Elementos de fractura crítica (FCMs).....                            | 30 |

---

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.1.16.  | Cargas sísmicas en puentes y rehabilitación.....  | 32 |
| 2.2.     | Procedimientos para la rehabilitación, reparación y mantenimiento de estructuras de concreto.....                               | 33 |
| 2.2.1.   | Hidro lavado con chorro de agua a presión mínima de 2500 psi .....  | 33 |
| 2.2.2.   | Inyección de resina epóxica de ultra baja viscosidad en fisuras de vigas y tablero de puentes.....                              | 34 |
| 2.2.3.   | Reparación y saneado del concreto afectado por corrosión, degradación y ataque medioambiental, biológico y microbiológico ..... | 34 |
| 2.2.4.   | Reparación de junta longitudinal de unión del tablero existente con la ampliación.....  | 35 |
| 2.2.5.   | Demolición juntas de expansión existentes y construcción de juntas tipo wabo inverseal35  |    |
| 2.2.6.   | Preparación de superficie y aplicación de recubrimiento de protección elementos metálicos .....                                 | 36 |
| 2.3.     | Análisis de Capacidad de Carga .....  | 37 |
| 2.3.1.   | Escenario con carencia de información estructural relevante: .....  | 37 |
| 2.3.2.   | Escenario con información estructural de construcción .....   | 43 |
| 2.3.2.1. | Factor de capacidad de carga y resistencia.....   | 44 |
| 2.4.     | Tipos de Inspecciones y Frecuencia. ....  | 50 |
| 2.4.1.   | Tipos de inspecciones.....  | 50 |
| 2.4.2.   | Frecuencias de Inspecciones:.....   | 52 |
| 3.       | Metodología .....   | 54 |
| 3.1.1.   | Inspección visual de partes de un puente.....   | 57 |
| 3.1.2.   | Inspecciones según tipología de puentes .....   | 59 |
| 3.2.     | Índice de demanda / capacidad .....   | 60 |
| 3.3.     | Plan de Mantenimiento de puentes y pontones .....   | 61 |
| 4.       | Conclusiones .....  | 62 |

---

|                   |    |
|-------------------|----|
| Bibliografía..... | 63 |
| Anexos 1 .....    | 64 |
| Anexos 2.....     | 66 |

---

### Lista de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1.Descripción de los diferentes tipos de fisuras .....                            | 17 |
| Tabla 2. Guía de anchos de fisura razonable .....                                       | 18 |
| Tabla 3.Resistencia mínima de compresión del concreto por año de construcción .....     | 38 |
| Tabla 4 Limite elástico del acero de refuerzo por año de construcción .....             | 38 |
| Tabla 5. Resistencia a la tracción de torones pretensados por año de construcción ..... | 39 |
| Tabla 6.propiedades mecánicas del acero estructural por año de construcción .....       | 39 |
| Tabla 7.limite elástico de pasadores de acero por año de construcción .....             | 39 |
| Tabla 8. Ajuste de $X_p$ .....  | 43 |
| Tabla 9. Estados límites y factores de carga.....                                       | 46 |
| Tabla 10. Factor de Condición: $\varphi_c$ .....  | 47 |
| Tabla 11. Factor de sistema: $\varphi_s$ .....  | 47 |
| Tabla 12. Factor de carga para carga de diseño $\gamma_{LL}$ .....                      | 49 |
| Tabla 13. Plan de inspección de puentes (INVIAS).....                                   | 52 |
| Tabla 14. Plan de mantenimiento de puentes (INVIAS, 2016).....                          | 66 |

---

### Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Clasificación de Puentes .....  | 12 |
| Figura 2. Perfil por eje de la vía .....  | 14 |
| Figura 3. Planta general .....  | 15 |
| Figura 4. Esquema y ubicación de diferentes tipos de fisuras.....                         | 17 |
| Figura 5. Tipos de fisuras y grietas. Parte A .....                                       | 20 |
| Figura 6. Tipos de fisuras y grietas. Parte B.....  | 21 |
| Figura 7. Fisuras en la viga de un puente .....   | 22 |
| Figura 8. Hormigueros en vigas de concreto reforzado.....                                 | 23 |
| Figura 9. Acero expuesto en el tablero de un puente.....                                  | 24 |
| Figura 10. Infiltraciones y eflorescencias en el estribo de un puente.....                | 25 |
| Figura 11. Muestra con carbonatación en una viga .....                                    | 26 |
| Figura 12. Corrosión en vigas metálicas .....   | 27 |
| Figura 13. Contaminación del concreto en aletas de un puente .....                        | 27 |
| Figura 14. Daño por impacto en barreras de un puente.....                                 | 28 |
| Figura 15. Erosión en estribos de un puente.....  | 29 |
| Figura 16. Fisura por fatiga en una viga metálica .....                                   | 30 |
| Figura 17. Flujograma de inspección y evaluación estructural de puentes y pontones.....   | 54 |
| Figura 18. Levantamiento geométrico de un puente (Planta – perfil -sección transversal) . | 56 |
| Figura 19. Ficha SIPUCOL. Datos generales.....  | 64 |
| Figura 20. Ficha SIPUCOL. Inspección y calificación. ....                                 | 65 |

## Resumen

Este informe, describe los procesos de inspección, evaluación y rehabilitación de estructuras tipo puentes y pontones, se describe las patologías más comunes en estas estructuras, tales como son: deficiencias de diseño, corrosión, fatiga, deformaciones excesivas, daños por impacto, fisuras, desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo, desgaste y erosión, hormigueros, infiltraciones, eflorescencias y carbonatación, las cuales son de suma importancia su identificación y posterior remediación, entendiéndose que estas patologías afectan negativamente la vida útil de estas estructuras, por consiguiente se realiza un procedimiento de inspección de puentes, partiendo desde la parte visual utilizando como referencia el "Manual para la Inspección Visual de Puentes y Pontones" (INVIAS, 2006), para la evaluación de capacidad de carga nos enfocamos en procedimientos de factor de capacidad de carga y resistencia LRFR (AASHTO, 2010) en los casos en los que se dispone de información de diseño, en caso contrario, donde hay carencia de información detallada de su diseño y construcción, se aborda la evaluación utilizando pruebas de carga no destructivas descritas en "The Manual for Bridge Evaluation" (AASHTO, 2010). Por último, se propone un procedimiento a tener en cuenta para la inspección y evaluación de estas estructuras, igualmente las patologías más comunes que se presentan en cada uno de los elementos de la subestructura, así como de la superestructura que conforman un puente.

*Palabras clave:* Patología estructural, inspección visual, factor de capacidad de carga.

### **Abstract**

This report describes the inspection and evaluation processes of the load capacity of structures such as bridges, describing the most recurring pathologies in these structures, such as: design deficiencies, corrosion, fatigue, excessive deformations, impact damage, cracks, detachment of the concrete and exposure of the reinforcing steel, wear and erosion, anthills, infiltrations, efflorescence and carbonation, which are of the utmost importance their identification and subsequent remediation, understanding that these pathologies negatively affect the useful life of these structures, for Consequently, a bridge inspection procedure is carried out, starting from the visual part using as a reference the "Manual for the Visual Inspection of Bridges and Pontoons" (INVIAS, 2006). for the evaluation of load capacity, we focus in LRFR load capacity and resistance factor procedures (AASHTO, 2010) in cases where design information is available, otherwise, where there is a lack of detailed information on its design and construction, the evaluation is addressed using tests non-destructive loading procedures described in "The Manual for Bridge Evaluation" (AASHTO, 2010). Finally, a procedure is proposed to take into account for the inspection and evaluation of these structures, as well as the most common pathologies that occur in each of the elements of the substructure, as well as the superstructure that make up a bridge.

*Keywords:* Structural pathology, visual inspection, load and resistance factor rating

## **Introducción**

Los puentes son estructuras primordiales en el desarrollo vial de un país, por lo que su construcción permite mejorar alineamientos viales, acortar distancias, salvar obstáculos tales como cuerpos de agua, cañones, valles etc. lo que conlleva a la disminución del tiempo y de la distancia de recorrido entre dos puntos de interés.

La historia de los puentes se remonta tiempos antiguos y con el paso del tiempo han evolucionado tanto en sus materiales, formas y técnicas de construcción, empezando desde el uso de troncos de maderas apilados pasando al uso de rocas en formas más específicas y actualmente la utilización principalmente de concreto y acero que junto a diversas técnicas de construcción, han ayudado a construir claros cada vez más largos.

Estas estructuras una vez terminadas y puestas en uso se ven expuestas a diferentes entornos que deterioran sus materiales, su forma, el entorno circundante comprometiendo la estabilidad y el seguro funcionamiento bajo criterios mínimos de seguridad que los rigen, por ejemplo, el (Norma Colombiana de Diseño de puentes CCP-14, 2014) para el caso de Colombia.

Por tal motivo se ve imprescindible realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación de puentes, enfatizando que el mantenimiento de un puente se caracteriza por atender daños superficiales que aún no están comprometiendo la seguridad estructural y su principal objetivo es alargar la vida útil cumpliendo los requerimientos estructurales a los cuales está siendo requerido, en el caso de rehabilitación nos referimos a buscar herramientas o métodos para aumentar estructuralmente la capacidad de carga a soportar por la estructura, la cual puede estar siendo comprometida por diferentes circunstancias como son daños estructurales accidentales, deterioro de los materiales por diversas condiciones entre ellas la exposición a factores ambientes en el transcurso del tiempo, que ocasionan pérdida de capacidad de carga para el cual fue diseñado en un principio, o en caso contrario, aumento de solicitaciones para las que fue diseñado inicialmente.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Proponer una metodología de inspección de puentes, pasando desde el reconocimiento del terreno, parte visual, levantamiento geométrico y en casos que se requieran pruebas especializadas, con el fin de obtener un criterio sobre la capacidad resistente actual, estado de los materiales, expectativa de vida de algunos elementos y sugerir un tiempo periódico de inspecciones y/u observación, enfocado en el criterio de establecer la capacidad de carga máxima segura de estructuras tipo puentes y pontones dentro del rango elástico lineal.

### **1.2. Objetivos específicos**

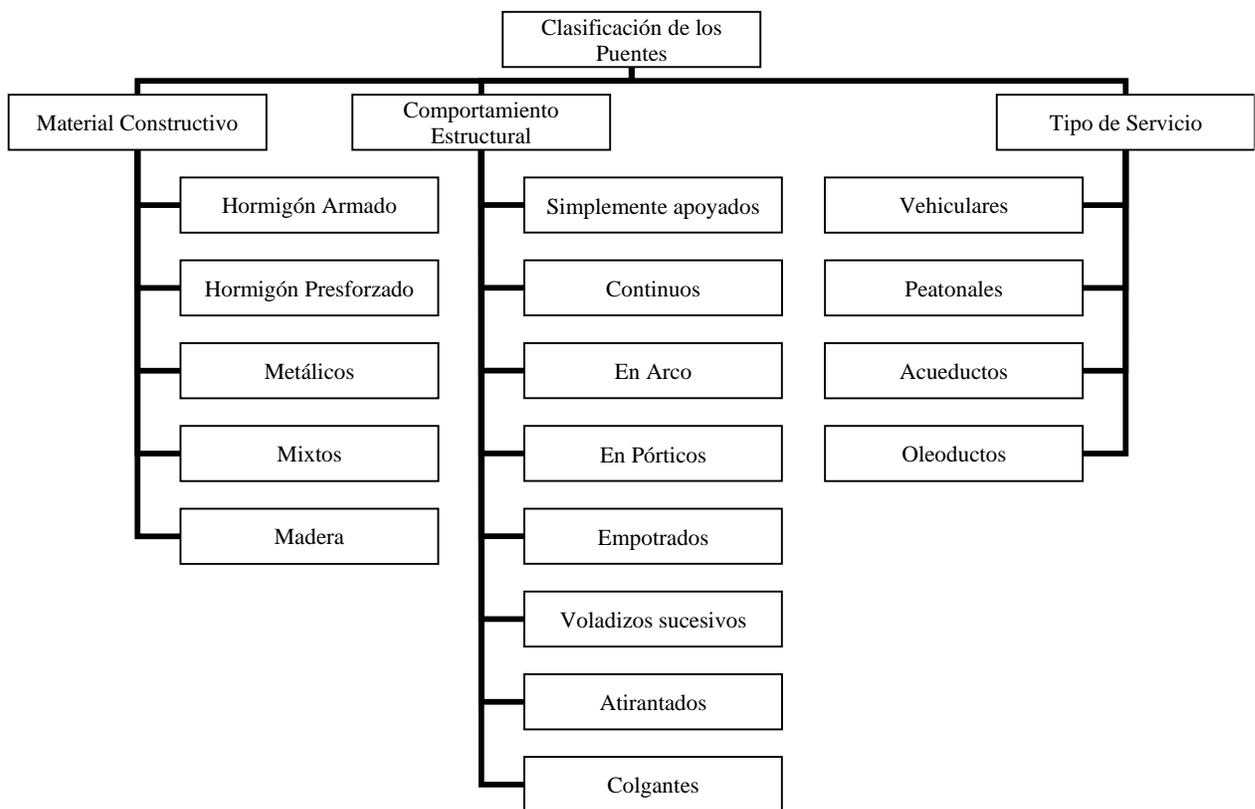
- Realizar un organigrama en el cual se encuentren las actividades para tener en cuenta en la inspección de un puente.
- Reconocer las principales patologías que afectan los puentes y pontones.
- Sugerir la frecuencia con la que se deben realizar inspecciones a los puentes y pontones.
- Describir procedimientos para la evaluación de capacidad de carga de los puentes y pontones.
- Evaluar la capacidad de carga de estructuras tipo puentes y pontones.

## 2. Marco teórico

Un puente es una estructura que se construye para permitir el paso de personas, vehículos y/o animales por encima de un obstáculo natural o artificial, como un río, un barranco, una carretera, un ferrocarril, entre otros. Los puentes se construyen para reducir la distancia entre dos puntos, mejorar la accesibilidad, la movilidad, y facilitar el transporte de bienes y personas.

Existen diferentes tipos puentes de acuerdo con su funcionalidad, geometría, material y técnicas con el que están contruidos. **Figura 1**

*Figura 1. Clasificación de Puentes*

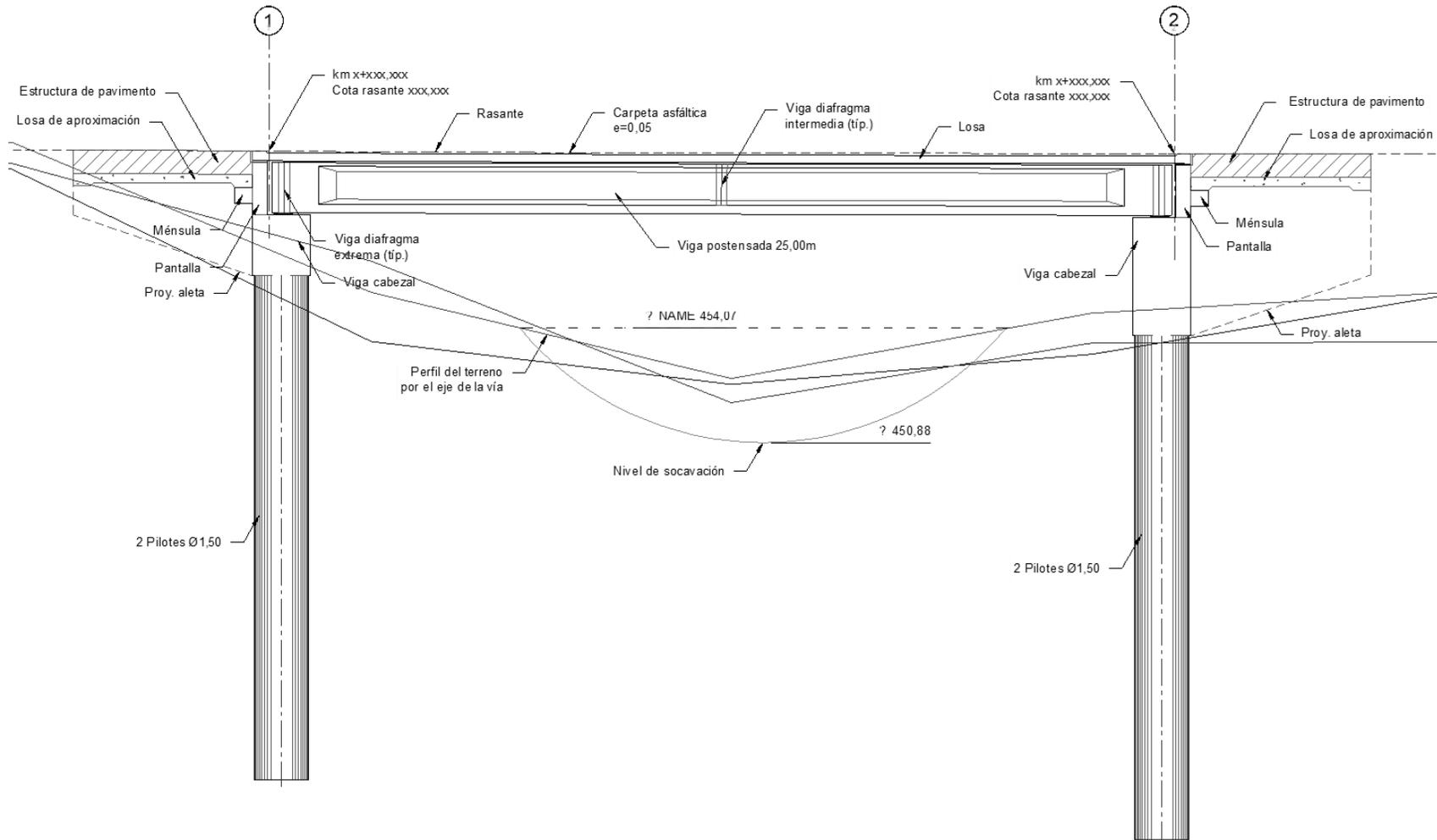


*Fuente Elaboración propia*

Un puente consta básicamente de dos partes: la subestructura y superestructura,

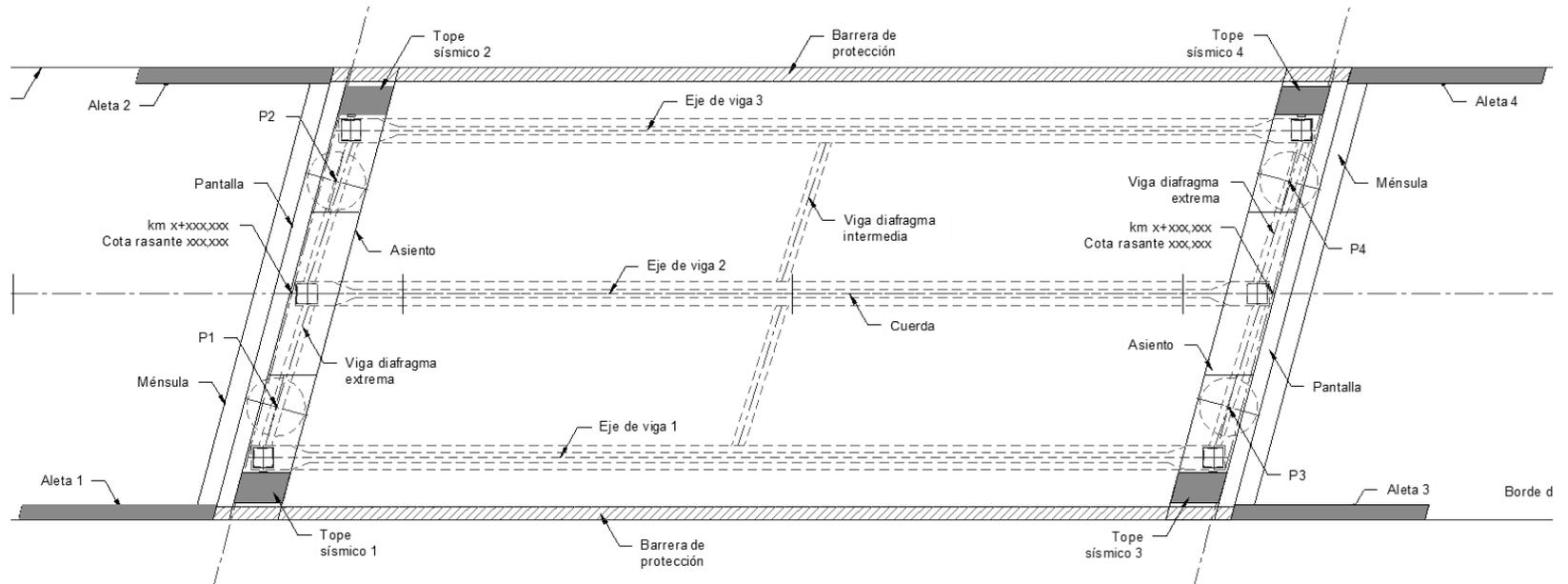
Figura 3 la primera de ellas generalmente compuesta de (estribos, apoyos intermedios, aletas) contribuye a recibir y transmitir las cargas a la cimentación, en tanto que la superestructura compuesta de (tablero, vigas, riostras, apoyos, y toda la parte de las instalaciones en la superficie del tablero como son, Juntas de expansión, andenes y bordillos, barandas, iluminación, señalización drenajes) es la parte de la cubierta del puente en la que transitan las cargas móviles y esta las transmite a la subestructura. (Departments of the Army the Air Force, 1994), en términos generales, las cargas se aplican sobre la superestructura y está a su vez las transmite a la subestructura que consta de los estribos en ambos extremos del puente y los apoyos intermedios, en caso de haber más de una luz, y estas a su vez las transmiten al suelo mediante cimentaciones profundas o superficiales, dependiendo de la capacidad de carga del suelo proporcionado por un estudio geotécnico.

Figura 2. Perfil por eje de la vía



Fuente elaboración propia

Figura 3. Planta general



Fuente elaboración propia

Debido a que los puentes son estructuras que están expuesto a diversos factores, los cuales afectan la durabilidad, la integridad de los materiales y por consiguiente el correcto y seguro funcionamiento ante las sollicitaciones establecidas, es de gran importancia revisar las patologías más comunes a las que se ven expuestas estas estructuras.

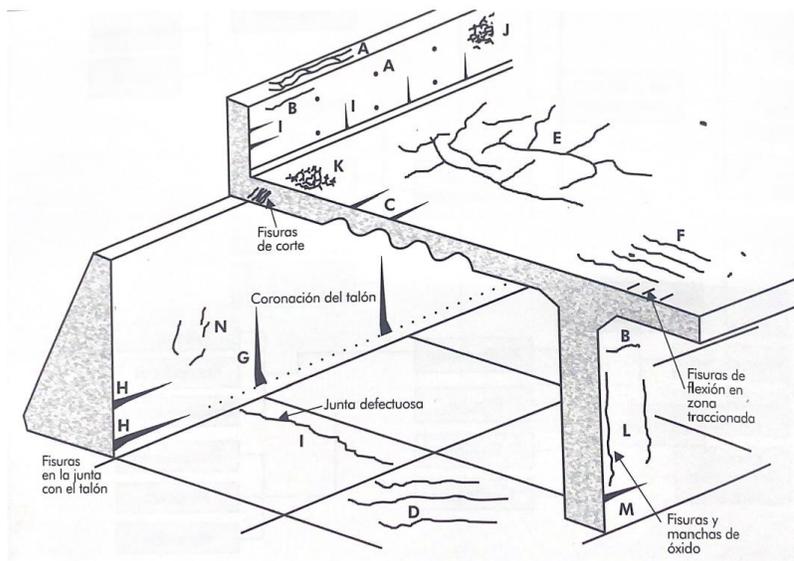
## **2.1. Patología**

El termino patología hace alusión a cualquier daño o problema que afecte la capacidad de carga, seguridad y durabilidad de la estructura. Estos problemas pueden ser causados por diferentes factores, como el envejecimiento, la exposición a condiciones climáticas extremas, el tráfico vehicular pesado, errores en el diseño o construcción, y falta de mantenimiento adecuado. A continuación, se describen algunas de las patologías comunes que pueden afectar a estas estructuras.

### **2.1.1. Fisuras**

Las fisuras son el resultado de los esfuerzos que actúan sobre los elementos estructurales, cualquier elemento de concreto reforzado es propenso a que presente fisuraciones bajo las cargas de servicio, sin embargo, cuando el ancho de las fisuras producidas es mayor a 0.5 mm se consideran manifestaciones patológicas de consideración, (INVIAS, 2006). En un patrón de fisuramiento se deben describir las siguientes características: el espesor, la longitud, la dirección de la fisura y la distancia entre estas, A continuación, se muestra los diferentes tipos de fisuras y su ubicación, ver **Figura 4**.

Figura 4. Esquema y ubicación de diferentes tipos de fisuras



Fuente (Guzmán, 2006)

Tabla 1. Descripción de los diferentes tipos de fisuras

| TIPO DE FISURA            | POSICIÓN EN LA FIGURA 4.4 | SUBDIVISIÓN              | UBICACIÓN MÁS USUAL       | CAUSA PRIMARIA  | FACTORES SECUNDARIOS                           | SOLUCIONES                                  | EDAD DE APARICIÓN                           |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---|--|---|---|
| Asentamiento plástico     | A                         | Sobre armadura           | Secciones de gran canto   | Exceso de exudación   | Condiciones de secado rápido a horas tempranas | Reducir exudación (aire oculto) o revibrar  | De 10 minutos a 3 horas                     |
|                           | B                         | Arco                     | Parte superior de pilares |   |  |   |   |
|                           | C                         | Cambio de espesor        | Losas aligeradas          |   |  |   |   |
| Contracción plástica      | D                         | Diagonal                 | Pavimentos y placas       | Secado rápido a horas tempranas                               | Baja velocidad de exudación                    | Mejorar curado a primeras horas             | De 30 minutos a 6 horas                     |
|                           | E                         | Aleatoria                | Losas de concreto armado  | Barras cerca de la superficie                                 |  |   |   |
|                           | F                         | Sobre armadura           | Losas de concreto armado  |   |  |   |   |
| De origen térmico         | G                         | Coacción externa         | Muros gruesos             | Exceso de calor de hidratación                                | Enfriamiento rápido                            | Reducir calor y/o aislar                    | De 1 día a 2-3 semanas                      |
|                           | H                         | Coacción interna         | Placas gruesas            | Altos gradientes de temperatura                               |  |   |   |
| Contracción a largo plazo | I                         |                          | Placas delgadas (y muros) | Juntas ineficaces   | Reacción excesiva<br>Curado ineficaz           | Reducir contenido de agua<br>Mejorar curado | Varias semanas o meses                      |
| Cuarteaduras              | J                         | Contra formaleta         | Concreto cara vista       | Encofrado impermeable   | Mezclas ricas<br>Pobre curado                  | Mejorar curado y acabado                    | De 1 a 7 días<br>Alguna vez mucho más tarde |
|                           | K                         | Concreto rico en lechada | Placas                    | Exceso de afinado   |  |   |   |
| Corrosión de armadura     | L                         | Natural                  | Soportes y vigas          | Falta de recubrimiento  | Pobre calidad del concreto                     | Eliminar causas señaladas                   | Más de 2 años                               |
|                           | M                         | Cloruro de calcio        | Concreto prefabricado     | Exceso de cloruro de calcio                                   |  |   |   |
| Reacción alcali-agregado  | N                         |                          | Localizaciones húmedas    | Agregados reactivos más cemento con alto contenido en álcalis |  | Eliminar causas señaladas                   | Más de 5 años                               |

Fuente (Guzmán, 2006)

**Nota:** sin embargo, las fisuras siempre van a estar presentes en las estructuras de concreto reforzado, siendo específicamente incluidas como parte del diseño. Según **sección 4.2.3.1** (ACI 224R-01), en ausencia de requerimientos específicos como los de la tabla 4.1, un ancho límite de fisura de 0.30 mm es satisfactorio respecto a la apariencia y durabilidad de la estructura. **Tabla 2**

*Tabla 2. Guía de anchos de fisura razonable*

| Condición de exposición                            | Ancho de fisura |      |
|--|-----------------|------|
|  | pulg.           | mm   |
| Aire seco o membrana protectora                    | 0.016           | 0.41 |
| Humedad, aire húmedo, suelo                        | 0.012           | 0.30 |
| Químicos para deshielo                             | 0.007           | 0.18 |
| Agua de mar, zona de salpique, ciclo húmedo y seco | 0.006           | 0.15 |
| Estructuras de retención de agua                   | 0.004           | 0.10 |

*Fuente ACI 224R*

**Fisuras por flexión:** este tipo de fisuras son comunes en elementos tipo losa y vigas, se presentan en la cara inferior de los elementos, se localizan en la zona central de la luz, nacen en la fibra inferior y se extienden hasta llegar al eje neutro de la sección, el ancho de las fisuras indica el nivel del esfuerzo de tracción al que han sido sometidas las barras de refuerzo.

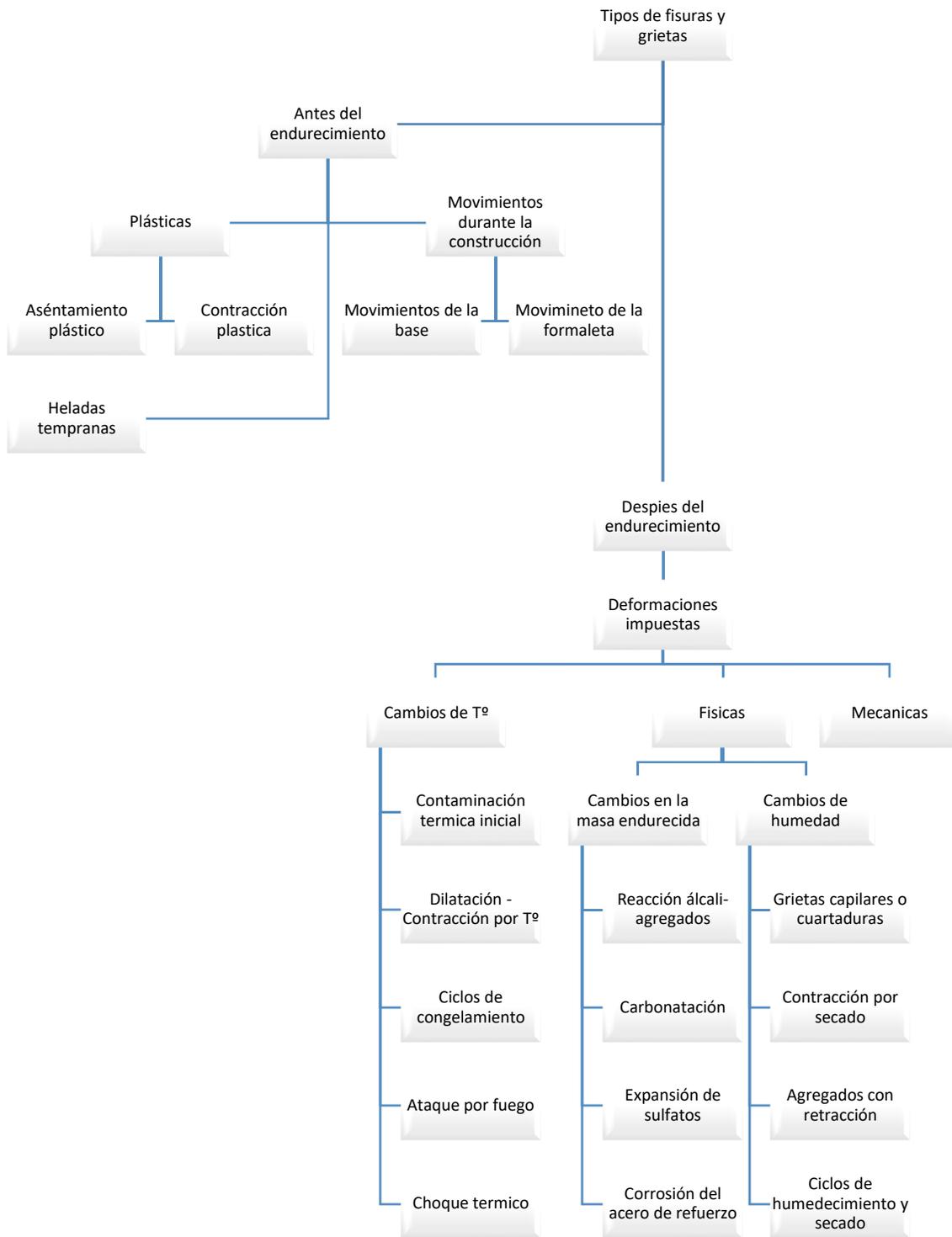
**Fisuras por cortante:** los esfuerzos de corte en vigas y losas generan fisuras oblicuas generalmente formando un ángulo de 45° con la dirección del acero principal, estas fisuras presentan un ancho variable y separación máxima correspondiente a la separación del refuerzo transversal.

**Fisuras por torsión:** Son fisuras transversales e inclinadas similares a las fisuras por cortante, pero con la diferencia que estas fisuras siguen un patrón de espiral o helicoidal que atraviesa toda la sección de los elementos.

**Aplastamiento local:** las fracturas y grietas por aplastamiento se presentan por la alta concentración de cargas que se presentan en los apoyos de los elementos simplemente apoyados, o en zona de anclaje para el presfuerzo de los torones.

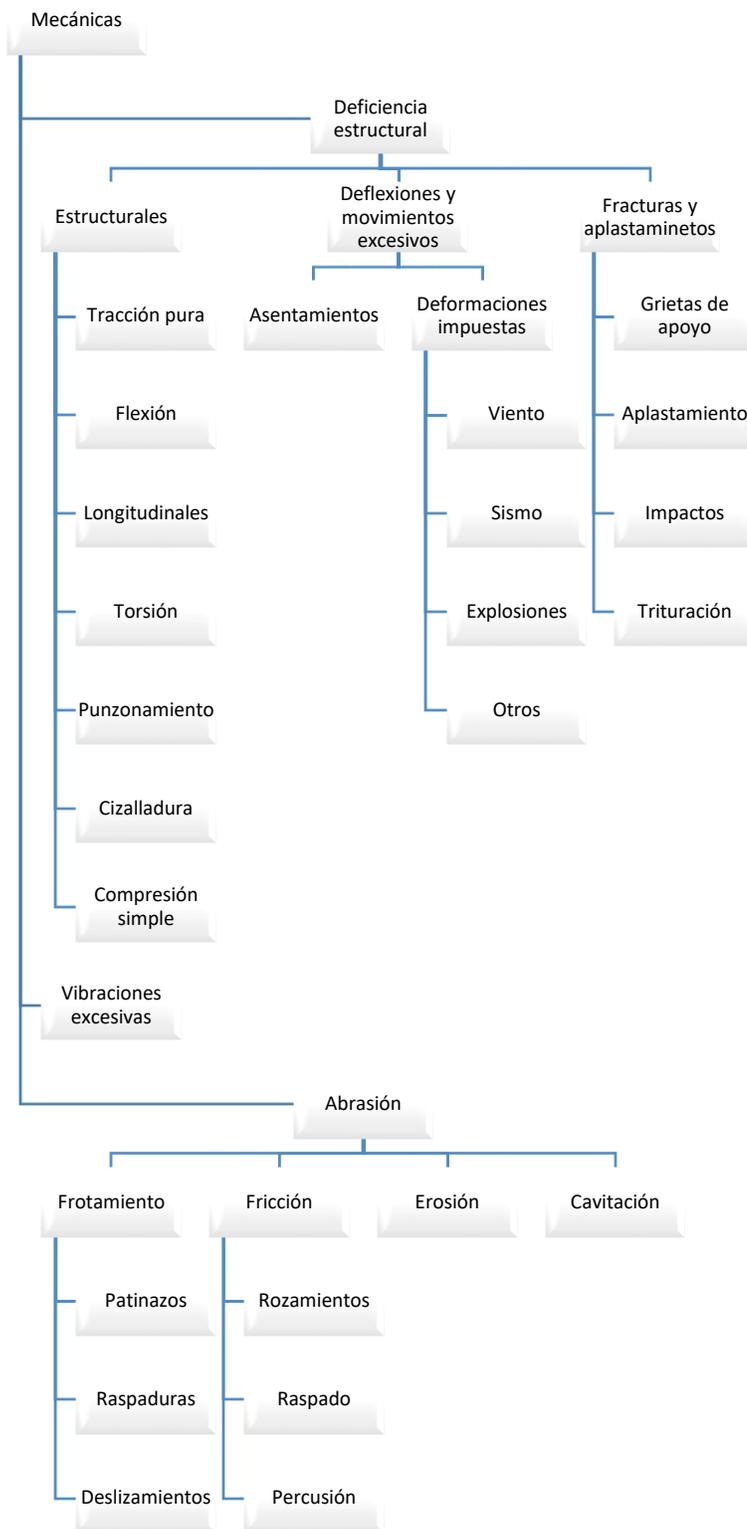
**Fisuras por retracción:** estas fisuras son el resultado de la evaporación del agua durante el proceso de endurecimiento del concreto, generalmente se presentan en superficies horizontales, generalmente son fisuras de espesores entre 0.2 mm a 0.4 mm y con longitudes hasta los 1.5 m.

Figura 5. Tipos de fisuras y grietas. Parte A



Fuente adaptado (Guzmán, 2006)

Figura 6. Tipos de fisuras y grietas. Parte B



Fuente adaptado (Guzmán, 2006)

*Figura 7. Fisuras en la viga de un puente*



*Fuente elaboración propia*

### ***2.1.2. Asentamientos***

Hace referencia a los movimientos verticales diferenciales, que se pueden presentar en las estructuras cuando no existe un diseño apropiado de la cimentación, estos asentamientos están asociados con deflexiones y fracturas en los apoyos, las fisuras por asentamiento van en dirección vertical, son de ancho y longitud variable.

### ***2.1.3. Volcamiento***

Este proceso se presenta en estructuras con mal dimensionamiento de los elementos, diseños inadecuados de la cimentación, además de ser el resultado indirecto de eventos como sismos, deslizamientos y explosiones, que pueden afectar puntual la zona.

### ***2.1.4. Hormigueros***

Los hormigueros son pequeñas cavidades o huecos que aparecen en la superficie del concreto endurecido. Estos huecos son causados por la acumulación de aire en la mezcla de concreto durante su colocación y compactación, a medida que el concreto se endurece, el aire atrapado queda atrapado en la mezcla y forma estos huecos en la superficie del concreto.

Los hormigueros no solo afectan la apariencia estética del concreto, sino que también pueden debilitar la estructura y reducir su resistencia. Si no se tratan adecuadamente, los

hormigueros pueden facilitar la entrada de humedad, lo que puede provocar la corrosión del acero de refuerzo y la degradación del concreto.

*Figura 8. Hormigueros en vigas de concreto reforzado*



*Fuente elaboración propia*

#### ***2.1.5. Segregación:***

Se relaciona con la inadecuada distribución de los componentes de la mezcla, característicamente con el agregado grueso en la parte inferior, a causa de la mala dosificación, concreto vertido desde grandes alturas, falta de vibrado, uso de agregado grueso sin aparente cohesión, exceso de agregado fino, entre otros.

#### ***2.1.6. Juntas frías:***

Cuando la continuidad entre concretos vaciados en diferentes etapas no se trata correctamente, generan disminución en la durabilidad de la estructura, a causa de ingreso de agentes agresivos como sulfatos, cloruros, carbonatos, que afectan el concreto o el acero de refuerzo, provocando disminución en la vida útil de la estructura.

#### ***2.1.7. Desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo***

El desprendimiento del concreto es otro problema común en los puentes de concreto. Esto puede ser causado por la exposición a condiciones climáticas extremas, el impacto de objetos pesados, la corrosión de la armadura de acero adicionalmente por malas prácticas

constrictivas, en ocasiones el recubrimiento termina siendo inadecuado afectando la durabilidad y capacidad portante de la estructura.

*Figura 9. Acero expuesto en el tablero de un puente*



*Fuente elaboración propia*

#### ***2.1.8. Infiltración y eflorescencias***

El término eflorescencia se emplea para describir depósitos que se forman en la superficie del concreto cuando el agua tiene la posibilidad de percolar a través del material, o cuando se presentan procesos de humedecimiento y secado alternadamente, estos depósitos eflorescentes están compuestos de sales de calcio, principalmente carbonatos y sulfatos, estas eflorescencias aumentan la porosidad y permeabilidad del concreto aumentando los eventos de corrosión del acero de refuerzo.

*Figura 10. Infiltraciones y eflorescencias en el estribo de un puente*

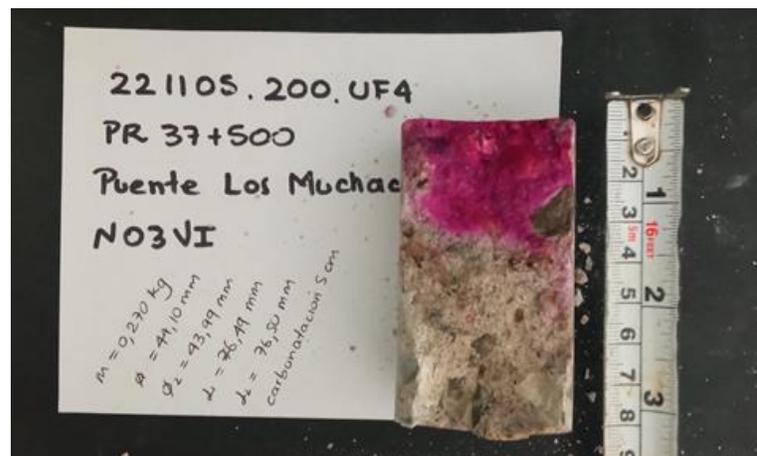


*Fuente elaboración propia*

### **2.1.9. Carbonatación**

la carbonatación es la reacción que se presenta entre el dióxido de carbono del aire o del suelo con los componentes alcalinos de concreto, generando carbonato de calcio, la carbonatación es un proceso que avanza lentamente, pero de forma continua hacia dentro del concreto facilitando el proceso de corrosión del acero, visualmente en la superficie del concreto carbonatado se observan eflorescencias y depósitos por lixiviación, fisuramiento por retracción, la manera más fácil de detectar la carbonatación es extrayendo un núcleo de concreto en donde se sospeche que existe carbonatación y mediante una solución de fenolftaleína se observa cambio de coloración en la zona no carbonatada y ausencia de tonalidades en la zona carbonatada. **Figura 11**

*Figura 11. Muestra con carbonatación en una viga*



*Fuente elaboración propia*

#### **2.1.10. Corrosión del acero de refuerzo**

La corrosión es un proceso electroquímico que causa oxidación del acero de refuerzo. Los factores que favorecen el proceso de corrosión se relacionan con las características del hormigón, como son: el espesor del recubrimiento, la localización del refuerzo, el medio ambiente del entorno, la porosidad y permeabilidad del concreto, y todo lo relacionado con la exposición del refuerzo con agentes externos al hormigón, la corrosión se presenta en forma de fisuras en el concreto paralelas a la dirección del refuerzo, desprendimiento del concreto de recubrimiento, y en algunos casos manchas de óxido en la superficie del concreto..

*Figura 12. Corrosión en vigas metálicas*



*Fuente elaboración propia*

#### ***2.1.11. Contaminación de concreto***

Esto ocurre por la presencia de material biológico como son, microorganismos, capa vegetal, sumado al tiempo de exposición pueden aumentar el deterioro del concreto, debido al aumento de la permeabilidad del concreto, favoreciendo los procesos de corrosión del acero de refuerzo, reacciones químicas generando zonas de carbonatación y los problemas que conllevan estas patologías.

*Figura 13. Contaminación del concreto en aletas de un puente*



*Fuente elaboración propia*

### ***2.1.12. Daños por impacto***

El impacto de un cuerpo contra elementos que hacen parte de la estructura de un puente, puede generar consecuencias como son los desprendimientos del recubrimiento, fisuras, pérdida de rigidez y llegar hasta el colapso de la estructura. Los eventos más recurrentes son los impactos por vehículos con elementos de la superestructura, los impactos por material transportado por corrientes de agua, por detonaciones de cargas explosivas y por eventos como deslizamiento y caída de rocas de gran altura, se requiere una inspección especial y detallada una vez se evidencia la ocurrencia del evento.

*Figura 14. Daño por impacto en barreras de un puente*



*Fuente elaboración propia*

### ***2.1.13. Desgaste y erosión***

Los puentes de concreto pueden sufrir desgaste y erosión debido a la exposición a la intemperie, la lluvia y el viento. Esto puede afectar la integridad de los elementos disminuyendo la sección transversal, exponiendo al acero de refuerzo al agua generando problemas de corrosión y reduciendo su durabilidad y capacidad de carga.

*Figura 15. Erosión en estribos de un puente*



*Nota: Fuente elaboración propia*

#### **2.1.14. Fatiga**

El termino de fatiga se refiere a la tendencia de un elemento a fallar, que está sometido a un nivel de tensión por debajo de su límite de elasticidad el cual está sometido a cargas cíclicas. Según (FHWA NHI 03-001, 2002) la fatiga es la principal causa de falla en elementos de fractura critica (FCMs), Los puentes que transportan gran volumen de cargas pesadas tienen más probabilidades de experimentar problemas de fatiga, está a su vez generalmente forma fisuras generadas en zonas de concentración de esfuerzos, donde cambia la rigidez del elemento, entre ellos están, las conexiones, soldaduras, componentes dañados y las secciones con desgaste por corrosión.

*Figura 16. Fisura por fatiga en una viga metálica*



*Fuente elaboración propia*

#### ***2.1.15. Elementos de fractura crítica (FCMs)***

se define a los miembros de fractura crítica como “Elementos en tensión o con componentes en tensión que su falla tiene altas probabilidad de producir el colapso del puente o la inhabilidad del mismo” según (FHWA NHI 03-001, 2002) .

Para que un elemento de un puente sea clasificado como elemento de fractura crítica (FCMs), debe de cumplir 2 criterios.

Elementos en tensión o componentes de ellos en tensión, las 5 principales fuerzas que ejercen tensión en los elementos son:

- Tensión axial: actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro y tiende a "separar" el miembro.
- Compresión axial: actúa a lo largo del eje longitudinal de un elemento y tiende a "empujar" el elemento para unirlo.
- Cortante: fuerzas transversales iguales pero opuestas que tienden a deslizar una sección de un miembro más allá de una sección adyacente produciendo una tensión diagonal orientada a 45 grados con respecto al eje longitudinal.
- Flexión: causada por el momento comúnmente desarrollado por la carga transversal de un miembro que produce tensión y compresión.

- Torsión: resulta de momentos aplicados externamente que tienden a torcer o rotar el elemento sobre su eje longitudinal, lo que produce una tensión diagonal presente en todas las superficies del elemento.

El segundo criterio para que un elemento sea catalogado como elemento de fractura crítica es que su falla cause el total o parcial colapso de la estructura, por tal motivo es importante identificar el grado de redundancia de un puente.

El termino redundancia en puentes significa que si un elemento del puente falla, la carga que anteriormente llevaba el elemento que falló se distribuiría a los demás elementos del puente, cuando estos elementos tienen la capacidad de soportar la carga adicional temporalmente y evitar el colapso de la estructura nos referimos a redundancia, en caso contrario, las estructuras no redundantes, la distribución de la carga adicional hace que fallen los otros elementos, provocando el colapso de la estructura, hay tres tipos de redundancia en puentes.

Redundancia de ruta de carga: los diseños de puentes que tienen tres o más elementos principales de carga se consideran redundantes en la ruta de carga. Si un elemento fallara, la carga tiene una mejor oportunidad de ser redistribuida de manera segura a los otros miembros, y es posible que no ocurra la falla del puente. Un ejemplo de redundancia de ruta de carga es un puente de varias vigas.

Redundancia estructural: los puentes que brindan continuidad en la ruta de la carga de un tramo a otro se denominan estructuralmente redundantes. Algunos puentes de dos vigas de vano continuo son estructuralmente redundantes. En caso de falla de un miembro, la carga de ese tramo se puede redistribuir a los tramos adyacentes y es posible que no ocurra la falla del puente.

Redundancia interna: la redundancia interna existe cuando un elemento de un puente contiene tres o más componentes que se unen mecánicamente para que se formen múltiples rutas de carga independientes. La falla de un componente del elemento no causaría la falla total del miembro. Un ejemplo de un miembro redundante internamente es una viga de placa remachada.

Es un fenómeno de falla en elementos, que puede ocurrir como resultado de la propagación de una fisura del material cerca de una zona de soldadura, defecto del material, cambios en la sección transversal o una combinación de estos eventos, la causa de falla es producto del sometimiento del elemento a cargas repetitivas, donde con frecuencia se forma una pequeña fisura en la zona de mayor concentración de esfuerzos a tensión. Los elementos que tengan una longitud mayor a 10 cm en la dirección del esfuerzo a tensión, que se realice soldadura en el sentido del esfuerzo a tensión, se considera como elemento propenso de fallar por fractura crítica.

La característica principal de estos elementos es una falla repentina, por tal motivo elementos propensos a fallar por fractura crítica debe de ser cuidadosamente revisados durante las inspecciones programadas.

Los puentes metálicos con las siguientes características deben de recibir atención especial durante las inspecciones, debido a la falta de redundancia estructural, que llevará al colapso de la estructura en caso de fallar uno de sus elementos de fractura crítica.

- Sistemas de una o dos vigas en “I” o viga cajón.
- Sistemas de suspensión con componentes “eyebar”, “ojo de perno u ojo de varilla”
- Pilares de acero y vigas transversales
- Sistemas de dos cerchas
- Arcos armados y soldados
- Conexiones de pasador en dos o tres vigas.

La detección temprana de estas patologías y la implementación de medidas preventivas y correctivas pueden ayudar a garantizar la seguridad y durabilidad de los puentes de concreto y acero a largo plazo.

#### ***2.1.16. Cargas sísmicas en puentes y rehabilitación***

Los puentes son estructuras críticas que pueden verse afectadas significativamente por cargas sísmicas, los terremotos pueden causar daños en la estructura del puente, lo que a

su vez puede afectar la capacidad de carga del puente y su seguridad. Por lo tanto, es importante que los puentes estén diseñados y construidos para resistir cargas sísmicas y que se realicen inspecciones y evaluaciones regulares para identificar y abordar posibles problemas.

En términos de rehabilitación de puentes, las cargas sísmicas pueden requerir la implementación de medidas de fortalecimiento y reparación para mejorar la resistencia sísmica de la estructura. Estas medidas pueden incluir la adición de refuerzos estructurales, como la instalación de vigas de acero y soportes adicionales, mejorar las cimentaciones, la reducción de la masa de la estructura o la instalación de sistemas de amortiguamiento.

Las medidas específicas de rehabilitación dependerán de la estructura y de la magnitud de las cargas sísmicas esperadas en la zona. Es importante realizar una evaluación adecuada de la estructura del puente para determinar el nivel de daño y la capacidad de carga después de un terremoto y para determinar el tipo y la extensión de las medidas de rehabilitación necesarias. Para profundizar sobre rehabilitaciones sísmicas ver. (fib, 2007)

Además, es importante tener en cuenta que la prevención es la mejor estrategia para abordar las cargas sísmicas en puentes. Un diseño adecuado, una construcción de alta calidad y una inspección y mantenimiento regular pueden ayudar a reducir el impacto de las cargas sísmicas en los puentes.

## **2.2. Procedimientos para la rehabilitación, reparación y mantenimiento de estructuras de concreto**

### **2.2.1. Hidro lavado con chorro de agua a presión mínima de 2500 psi**

**Objetivos:** establecer los procesos para realizar el hidro lavado en los elementos estructurales de los puentes (Tablero, vigas, riostras, aletas, estribos) para eliminar polvo, grasa y demás contaminantes y remover partículas sueltas o mal adheridas.

**Desarrollo:** iniciar limpieza de arriba hacia abajo, procurando mantener una presión suficiente para remover el polvo, grasa, contaminantes biológicos, microbiológicos y partículas sueltas o mal adheridas. Este método consiste en rociar agua a presión mínima de 2500 psi, para remover incrustaciones duras de suciedad y material suelto o mal adherido y

para la preparación de superficie para la aplicación de morteros de reparación en los trabajos de saneado del concreto y para la aplicación de recubrimientos de protección que se puedan colocar en sustrato húmedo. Durante el proceso de hidro lavado no se produce polvo y permiten altos rendimientos.

### ***2.2.2. Inyección de resina epóxica de ultra baja viscosidad en fisuras de vigas y tablero de puentes.***

**Objetivos:** establecer los procesos para la ejecución de la inyección a presión de resina epóxica de ultra baja viscosidad en fisuras de espesor a 0,3 mm y superiores pasivas (sin movimiento) en vigas y tablero de puentes; con el objetivo de restituir el monolitismo estructural y mejorar las condiciones de durabilidad evitando el ingreso de humedad, del elemento a tratar

**Desarrollo:** realizar hidro lavado con chorro de agua a presión mínima de 2.500 psi, hasta tener una superficie libre de contaminantes y completamente limpia, efectuar inspección visual detallada para localizar fisuras y micro fisuras, las cuales no fue posible detectarlas en la Inspección visual inicial, Localizadas las fisuras y/o grietas, proceder a calibrarlas para determinar el espesor, con ayuda de tarjeta calibradora, Aplicar aire a presión en la fisura para eliminar polvo y demás contaminantes que estén introducidos dentro de la fisura.

### ***2.2.3. Reparación y saneado del concreto afectado por corrosión, degradación y ataque medioambiental, biológico y microbiológico***

**Objetivos:** establecer los procesos para la preparación de superficie para el saneado del concreto afectado por corrosión, hormigueros, degradación por efectos medioambientales, contaminación biológica, microbiológica; con la aplicación de inhibidores de corrosión sobre el acero de refuerzo con corrosión, y restitución de sección afectada con morteros para reparación estructural, ya que una apropiada preparación de superficie es la clave para obtener una reparación exitosa.

**Desarrollo:** localizar y delimitar las áreas afectadas en vigas, riostras, tablero y estribos; del puente a intervenir, con formas geométricas, realizar cortes con disco

---

diamantado siguiendo las delimitaciones, con profundidad de 2-3 cm previendo no afectar el acero de refuerzo, retirar el concreto afectado y hasta encontrar concreto sano, sin afectar el acero de refuerzo existente; con el uso de martillos eléctricos y/o neumáticos livianos de peso máximo 6.8 kg, escarificar destapando el acero de refuerzo hasta mínimo  $\frac{3}{4}$ " por debajo de este, limpieza con hidro lavado para eliminar polvo y partículas sueltas y mal adheridas, aplicación de inhibidor de corrosión sobre el acero de refuerzo expuesto. restitución de la sección con mortero para reparación estructural, aplicación de recubrimiento de protección acrílico elástico que puentea fisuras protege de la carbonatación y el ataque químico medioambiental.

#### ***2.2.4. Reparación de junta longitudinal de unión del tablero existente con la ampliación***

**Objetivos:** establecer los procesos para la reparación de la junta longitudinal de unión del tablero existente con la ampliación, con la demolición de las áreas afectadas, adición de acero de refuerzo y restitución de la sección con concreto  $f'c=35$  MPa adicionado con microfibra de polipropileno.

**Desarrollo:** realizar corte con disco diamantado sobre carpeta asfáltica a 30 cm del borde de la junta para ambos lados, demoler carpeta asfáltica y concreto (30 cm) tanto del tablero existente como del tablero de ampliación, con martillo eléctrico/neumático de peso máximo 6.8 kg, evitando afectar el acero de refuerzo existente en los dos tableros, colocar refuerzo adicional y concreto  $f'c=35$  MPa., adicionando fibra. Aplicar puente de adherencia en bordes, colocar formaleta, aplicar puente de adherencia epóxico en bordes de concreto de ambos tableros, previa limpieza con hidro lavado para eliminar polvo, grasa y demás contaminantes, colocar concreto  $f'c=35$  MPa adicionado con microfibra de polipropileno para mitigar fisuramiento. Colocar carpeta asfáltica.

#### ***2.2.5. Demolición juntas de expansión existentes y construcción de juntas tipo wabo inverseal***

**Objetivos:** establecer los procesos para la demolición de las juntas de expansión existentes y construcción de juntas tipo wabo inverseal.

---

**Desarrollo:** realizar corte con disco diamantado a 20-30 cm a cada lado de la junta de expansión existente, conformada con ángulos metálicos demoler el concreto en todo el espesor del tablero, con martillo eléctrico y/o neumático liviano (peso máximo. 6.8 kg), sin afectar el acero de refuerzo existente, retirar los ángulos que conformaban la junta existente, Adicionar acero de refuerzo, en caso de requerirse, Instalar formaletas, conformando las juntas, Realizar limpieza de los bordes de concretos, con hidro lavado Aplicar puente de adherencia epóxico para unir concretos de diferentes edades, Restituir la sección con concreto  $f'c=35$  MPa adicionado con macro fibra de polipropileno, retirar el material que conforma la junta (icopor y/o madera). instalar sello tipo wabo inverseal, debidamente adherido a los bordes de concreto con mortero epóxico.

#### ***2.2.6. Preparación de superficie y aplicación de recubrimiento de protección elementos metálicos***

**Objetivos:** establecer los procesos para preparación de superficie y aplicación de recubrimiento de protección de elementos metálicos, como tubería de barandas y elementos metálicos estructurales (vigas IPE).

**Desarrollo:** el éxito de la aplicación de un recubrimiento de protección se debe principalmente a la preparación de la superficie y el sistema de aplicación. Cuando se selecciona un sistema de recubrimiento debe tenerse en cuenta juntamente con la influencia del ambiente y el aspecto final, algunas consideraciones relativas a las funciones que el sistema debe desempeñar y a su mantenimiento. La preparación de la superficie es cualquier operación o conjunto de operaciones realizadas en una superficie que elimina defectos físicos y contaminantes superficiales para la posterior aplicación de un recubrimiento. Para la aplicación del sistema de recubrimiento de protección de los elementos metálicos se deberá seguir: La preparación de superficie sobre la cual se aplicará el recubrimiento de protección se ejecutará utilizando herramientas manuales tales como lija, no eléctricas, para eliminar impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes que puedan ser removidos con el solo esfuerzo humano; logrando perfil de anclaje tipo SSPC-SP-2, ana vez realizada la preparación de superficie esta deberá estar seca, y limpiarse para eliminar polvo, grasa, mugre, grasa y demás contaminantes que puedan

interferir con el recubrimiento, la aplicación del sistema de recubrimiento de protección de los elementos metálicos se podrá ejecutar con brocha, rodillo o equipo convencional. En caso de aplicarse con brocha, ésta debe ser de cerda animal y no de nylon.

La evaluación de capacidad de carga es de gran importancia en la inspección de un puente, ya que, con esta, se podrá establecer en qué condiciones se encuentra las estructuras tipo puentes y pontones. A continuación, se describe dos procedimientos para la evaluación de capacidad de carga de un puente, la primera de ellas es mediante el factor de capacidad de carga, para cuando hay información suficiente de detalles constructivos. El segundo procedimiento es mediante pruebas de carga de no destructivas de comprobación, la cual es de utilidad en los casos donde hay ausencia de información de detalles constructivos. Ambos métodos los proporciona (AASHTO, 2010).

### **2.3. Análisis de Capacidad de Carga**

Para la evaluación de capacidad de carga nos enfrentamos a dos escenarios:

#### ***2.3.1. Escenario con carencia de información estructural relevante:***

Es el más común en estructuras existentes, es encontrarnos con escasez de información debido a la antigüedad de construcción y sumado al mal manejo y falta de digitalización de la información, en estos casos los detalles como el refuerzo en un puente de concreto, propiedad de los materiales utilizados, planos, o mediciones de campo no están disponibles, en estos casos:

- Una inspección física del puente por parte de un inspector calificado y la evaluación por parte de un ingeniero calificado pueden ser suficientes para establecer una capacidad de carga aproximada basada en criterio racional. (AASHTO, 2010)
- Por otro lado, las pruebas de carga pueden ser útiles para establecer la capacidad de carga segura para tales estructuras.
- Un puente de hormigón con información referente al refuerzo y propiedades desconocidas no necesitará restringirse para una carga específica, si ha estado transportando tráfico normal durante un largo periodo y no presenta fallas, en

estos casos la estructura necesitara ser inspeccionada regularmente para verificar su optimo desempeño.

Uno de los primordiales datos para el análisis de capacidad de carga de una estructura, son las propiedades del concreto utilizado en la construcción, según (AASHTO, 2010) se puede tomar valores de referencia para estructuras de concreto de acuerdo con su año de construcción ver. **Tabla 3**

*Tabla 3. Resistencia mínima de compresión del concreto por año de construcción*

| <b>Año de construcción</b> | <b>Resistencia a la compresión <math>f'_c</math></b> |          |
|----------------------------|--|----------|
| Antes de 1959              | 2.5 ksi  | 17.2 MPa |
| Después de 1959            | 3.0 ksi  | 20.6 MPa |

*Fuente. Tabla 6A.5.2.1.1 (AASHTO, 2010)*

Para el caso de la resistencia a la tracción del acero no presforzado tenemos:

*Tabla 4 Limite elástico del acero de refuerzo por año de construcción*

| <b>Tipo de acero de refuerzo</b>  | <b>Limite elástico <math>f_y</math></b> |         |
|---|---|---------|
| Acero desconocido construido antes de 1954                              | 33.0 ksi                                | 227 MPa |
| Acero grado estructural   | 36.0 ksi                                | 248 MPa |
| Billet o grado intermedio, Grado 40, y acero construido después de 1954 | 40.0 ksi                                | 275 MPa |
| Riel o grado duro, Grado 50   | 50.0 ksi                                | 344 MPa |
| Grado 60  | 60.0 ksi                                | 413 MPa |

*Fuente. Tabla 6A.5.2.2.1 (AASHTO, 2010)*

Para el caso de los torones de presfuerzo tenemos:

Tabla 5. Resistencia a la tracción de torones pretensados por año de construcción

| Año de construcción | Resistencia a la tracción $f_{pu}$ |          |
|---------------------|------------------------------------|----------|
| Antes de 1963       | 232 ksi                            | 1599 MPa |
| Después de 1963     | 250 ksi                            | 1723 MPa |

Fuente. Tabla 6A.5.2.3.1 (AASHTO, 2010)

Para estructuras en acero estructural los valores de referencia según el año de construcción son los siguientes.

Tabla 6. propiedades mecánicas del acero estructural por año de construcción

| Año de construcción | Limite elástico $f_y$ |         | Resistencia a la tracción $f_{pu}$ |         |
|---------------------|-----------------------|---------|------------------------------------|---------|
| Antes de 1905       | 26 ksi                | 179 MPa | 52 ksi                             | 358 MPa |
| Entre 1905 y 1936   | 30 ksi                | 206 MPa | 60 ksi                             | 413 MPa |
| Entre 1936 y 1963   | 33 ksi                | 227 MPa | 66 ksi                             | 455 MPa |
| Después de 1963     | 36 ksi                | 248 MPa | 66 ksi                             | 455 MPa |

Fuente. Tabla 6A.6.2.1.1 (AASHTO, 2010)

Para pasadores en acero, los valores de referencia según el año de construcción son los siguientes.

Tabla 7. limite elástico de pasadores de acero por año de construcción

| Año de construcción | Limite elástico $f_y$ |         |
|---------------------|-----------------------|---------|
| Antes de 1905       | 25.5 ksi              | 175 MPa |
| Entre 1905 y 1935   | 30 ksi                | 206 MPa |
| Entre 1936 y 1963   | 33 ksi                | 227 MPa |
| Después de 1963     | 36 ksi                | 248 MPa |

Fuente. Tabla 6A.6.2.2.1 (AASHTO, 2010)

**Pruebas de carga no destructivas:** son pruebas que se realiza con el fin de verificar de forma experimental, que las propiedades mecánicas de los elementos que conforman la

superestructura del puente sean adecuadas y cumplan con las solicitaciones del proyecto y en general que la estructura tenga el comportamiento previsto en la etapa del diseño.

El propósito primordial de la prueba estándar en un puente consiste en verificar que los miembros sometidos a flexión del puente respondan adecuadamente a la hipótesis de carga viva con impacto que debieron usarse en el proyecto estructural del puente. El puente en análisis debe someterse a un determinado estado de carga, el cual genera en la estructura unas solicitaciones representativas al compararlas con los estados de carga máximas, como el objetivo del ensayo no es buscar los límites de falla del puente, si no comprobar el cumplimiento de las propiedades mecánicas, el proceso de carga debe realizarse por etapas de tal forma que sea posible realizar un control del comportamiento de la estructura, cada etapa tendrá una variación de esfuerzos, la cual afectará en razón directamente proporcional la deflexión de la superestructura. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1995)

Existen principalmente dos tipos de pruebas de carga, para la evaluación de un puente: las pruebas de diagnóstico y las pruebas de comprobación, estas pruebas por lo general se emplean para mejorar la comprensión del comportamiento de los puentes sometidos a una carga específica conocida, con lo cual se puede cuantificar la verdadera capacidad de carga de la estructura.

**Pruebas de diagnóstico:** estas pruebas se emplean para reducir las incertidumbres relacionadas con las condiciones reales de la estructura, con respecto a sus características (propiedades del material, distribución transversal, condiciones de contorno, la efectividad en las reparaciones y la influencia de daños en el comportamiento de la estructura) esta prueba es de gran ayuda para generar modelos que ayuden a calcular el factor de calificación (RF). Los resultados de estas pruebas son utilizados en la calibración de los modelos estructurales. En estas pruebas es posible verificar la validez de los factores de distribución de carga de uno o más elementos críticos del puente, asumidos en la evaluación analítica realizada previamente y si es el caso ajustar dicha evaluación para obtener el comportamiento real de la estructura. Las pruebas de diagnóstico se realizan con niveles de carga relativamente bajos, por lo general cercanos al nivel de carga de servicio y se llevan a cabo en un periodo de tiempo corto.

**Pruebas de carga de comprobación:** estas pruebas ofrecen una alternativa al cálculo analítico de la capacidad de carga de un puente. Va enfocada a puentes que no pueden clasificar su capacidad de carga de manera analítica debido a la información insuficiente sobre sus detalles internos y configuración. Muchos puentes antiguos de vigas y losas de hormigón armado y hormigón pretensado cuyos planos de construcción, planos de diseño o ambos no están disponibles necesitan pruebas de comprobación para determinar una capacidad de carga viva real. Los puentes que son difíciles de modelar analíticamente debido a las incertidumbres asociadas con su construcción y la efectividad de las reparaciones también son candidatos potenciales y beneficiarios de las pruebas de carga de comprobación. Sección 8.4.1.2 (AASHTO, 2010) . Una prueba de carga comprueba la capacidad de un puente para soportar toda su carga muerta más la carga viva aplicada. Usualmente esta carga aplicada es mayor a las cargas esperadas de uso, por motivos de eventos de sobrecarga ocasional durante el funcionamiento del puente.

Las cargas de prueba proporcionan un límite inferior de la capacidad de resistencia real de los componentes, es decir, son un límite inferior de la capacidad de carga.

**Cuándo no hacer una prueba de carga:** Hay circunstancias específicas en las que no es recomendable ni seguro realizar pruebas de carga de comprobación, se enuncian a continuación

- El costo de las pruebas alcanza o excede el costo del reforzamiento del puente.
- Una evaluación previa a la prueba muestra que es poco probable que la prueba de carga muestre la posibilidad de mejorar la capacidad de carga.
- Según los cálculos, el puente no puede soportar ni el nivel más bajo de carga.
- Existe la posibilidad de falla repentina (corte o fractura).
- Las pruebas de carga pueden no ser prácticas debido a las dificultades de acceso o por las condiciones del tráfico en el sitio.

El el factor de carga viva  $X_p$  (aplicado a la prueba de carga) necesitado para que el puente pueda llegar a alcanzar un factor de clasificación  $RT$  igual a 1.0. Si la prueba de carga

---

alcanza de modo seguro, el nivel esperado, entonces quiere decir que la clasificación legal puede ser computada con el factor  $X_p$ , donde el factor de clasificación será 1.0. Durante la prueba de carga los factores utilizados en el transcurso de la realización de la misma proveen un rango de seguridad equivalente al que posee la capacidad de carga, mediante la implementación de los factores de carga y resistencia. Solamente la carga viva es mayorada durante la prueba, por otro lado, la carga muerta es asumida teniendo en cuenta el valor medio de la misma.

Existen diferentes condiciones que afectan la realización de la prueba, estas son tenidas en cuenta mediante la modificación o intervención del factor  $X_p$  convirtiéndose en  $X_{pA}$ .

El valor recomendado según la (AASHTO, 2010) para  $X_p$  antes de que se le realicen los ajustes según las condiciones es de 1.40.

Para deflexiones basadas en pruebas de carga:

$$R_n = 1.40(L + I) + D \quad (1)$$

Para deflexiones basadas en cálculos:

$$R_n = \gamma_{LL}(L + I) + \gamma_D D \quad (2)$$

Los niveles de confiabilidad para el análisis de la deflexión relacionado con la utilización de ambas ecuaciones son similares, aunque mediante la realización de la prueba de carga existe una mayor confianza en comparación con los obtenidos analíticamente. Algunos de los ajustes sugeridos por la (AASHTO, 2010), se encuentran continuación:

En la mayoría de las situaciones se aplican los factores de carga viva en las pruebas en dos carriles de carga. Si uno de los carriles puede controlar la respuesta de la estructura, entonces  $X_p$  tendrá un incremento del 15 %. Este incremento está estipulado en (AASHTO. LRFD Specifications, 2014).

Para secciones con detalles críticos de fractura, el factor de carga viva  $X_p$  se incrementará en un 10%, para aumentar el nivel de confiabilidad.

*Tabla 8. Ajuste de  $X_p$*

| <b>Consideraciones</b>          | <b>Ajuste en <math>X_p</math></b> |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Controles de carga de un carril | +15%                              |
| Estructuras no redundantes      | +10%                              |
| Detalles de fracturas críticos  | +10%                              |
| Puente en mal estado            | +10%                              |
| Inspección profunda             | -5%                               |
| Susceptible, $RF \geq 1$        | -5%                               |
| $ADTT \leq 1000$                | -10%                              |
| $ADTT \leq 100$                 | -15%                              |

*Fuente (AASHTO, 2010)*

Con los ajustes realizados sobre  $X_p$  por la Tabla 8. Ajuste de  $X_p$ , obtenemos el  $X_{pA}$  el cuál es el factor de carga viva objetivo y se calcula así:

$$X_{pA} = X_p \left(1 + \frac{\sum \%}{100}\right) \quad (3)$$

La carga viva objetivo  $L_T$  es entonces:

$$L_T = X_{pA} * L_R (1 + IM) \quad (4)$$

### **2.3.2. Escenario con información estructural de construcción**

En este caso hay información diseño, planos y memorias del momento de la construcción, en esta situación se puede realizar un análisis de capacidad de carga por el método de factor de capacidad de carga y resistencia LRFR descrito en la sección 6A (AASHTO, 2010).

### 2.3.2.1. Factor de capacidad de carga y resistencia

Los procedimientos de clasificación del factor de carga y resistencia proporcionan una metodología para clasificar la carga de un puente de acuerdo con la filosofía de diseño del factor de carga y resistencia (AASHTO. LRFD Specifications, 2014), la metodología para la clasificación del factor de carga y resistencia de los puentes se compone de tres procedimientos distintos:

- clasificación de carga de diseño
- clasificación de carga legal
- clasificación de carga permitida.

Los resultados de cada procedimiento sirven para usos específicos y también guían la necesidad de evaluaciones adicionales para verificar la seguridad o la capacidad de servicio del puente.

**Clasificación de carga de diseño:** esta clasificación es una evaluación de primer nivel de puentes basado en los estándares de diseño de carga viva HL-93 de la LRFD, utilizando las dimensiones y propiedades del puente en su condición actual al momento de la inspección. Es una medida del rendimiento de los puentes existentes según los estándares actuales de diseño de puentes LRFD, los puentes se examinan para el estado límite de resistencia en el nivel de confiabilidad de diseño LRFD.

La clasificación de carga de diseño puede servir como un proceso de selección para identificar que puentes deben de realizarse la clasificación de carga para cargas legales. Los puentes que pasan la verificación de carga de diseño ( $RF \geq 1$ ) sección **6A.1.5.1.del** (AASHTO, 2010) en el nivel de Inventario tendrán una clasificación de carga satisfactoria para todas las cargas legales que caen dentro del LRFD.

**Clasificación de carga legal:** Esta calificación de segundo nivel proporciona una capacidad de carga segura única (para una configuración de camión dada). Los factores de carga viva se seleccionan en función de las condiciones del tráfico de camiones en el sitio, los resultados de la clasificación de carga para cargas legales podrían usarse como base para la decisión de permitir el tránsito de cargas especiales o en su defecto el refuerzo del puente.

**Clasificación de carga permitida:** Esta es una calificación de tercer nivel que debe aplicarse solo a puentes que tengan suficiente capacidad para cargas legales (AASHTO, 2010) Se especifican factores de carga calibrados por tipo de permiso y condiciones de tráfico en el sitio para verificar los efectos de carga inducidos por el paso del camión con sobrecarga.

Las cargas que se tienen en cuenta para realizar la evaluación del puente según sección **6A.2.1 del** (AASHTO, 2010) son en general, las cargas permanentes y las cargas vehiculares, estas se consideran importantes en el análisis del factor de capacidad de carga. Las cargas ambientales como el viento, el hielo, la temperatura, el flujo de la corriente y los terremotos generalmente no se consideran en la clasificación, excepto cuando las condiciones particulares lo ameriten, el factor de capacidad de carga  $RF$  viene dado por: sección **6A.4.2 del** (AASHTO, 2010).

$$RF = \frac{C - (\gamma_{DC})(DC) - (\gamma_{DW})(DW) \pm (\gamma_P)(P)}{(\gamma_{LL})(LL + IM)} \quad (5)$$

Con

$$C = \varphi_c * \varphi_s * \varphi R_n \quad (6)$$

$$\varphi_c * \varphi_s \geq 0.85 \quad (7) \text{ límite inferior.}$$

$$C = f_R \quad (8) \text{ para estados límite de servicio.}$$

Donde:

$RF$  = Factor de clasificación de carga

$C$  = Capacidad

$f_R$  = Deformaciones permitidas LRFD

$R_n$  = Resistencia nominal del elemento a clasificar

$DC$  = Solicitaciones por carga muerta

$DW$  = Solicitaciones por instalaciones

$P$  = solicitaciones por cargas permanentes adicionales

$LL$  = Solicitaciones por carga viva

$IM$  = Carga dinámica permitida

$\gamma_{DC}$  =Factor de mayoración por carga muerta LRFD

$\gamma_{DW}$  =Factor de mayoración por carga de instalaciones LRFD

$\gamma_p$  =Factor de mayoración por carga permanente adicionales LRFD

$\gamma_{LL}$  =Factor de mayoración por carga viva LRFD

$\phi_c$  =Factor de condición

$\phi_s$  =Factor de sistema

$\phi$  =Factor de resistencia LRFD

La norma establece diferentes factores de mayoración que afectan las solicitaciones de carga muerta y viva (DC, DW, LL+IM) en puentes de acero, concreto reforzado, concreto presforzado y en madera. Los cuales se muestran a continuación:

*Tabla 9. Estados límites y factores de carga.*

| Bridge Type          | Limit State* | Dead Load<br>$\gamma_{DC}$ | Dead Load<br>$\gamma_{DW}$ | Design Load                |                            | Legal Load<br>$\gamma_{LL}$            | Permit Load<br>$\gamma_{LL}$ |
|----------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|------------------------------|
|                      |              |                            |                            | Inventory<br>$\gamma_{LL}$ | Operating<br>$\gamma_{LL}$ |  |                              |
| Steel                | Strength I   | 1.25                       | 1.50                       | 1.75                       | 1.35                       | Tables 6A.4.4.2.3a-1 and 6A.4.4.2.3b-1 | —                            |
|                      | Strength II  | 1.25                       | 1.50                       | —                          | —                          | —                                      | Table 6A.4.5.4.2a-1          |
|                      | Service II   | 1.00                       | 1.00                       | 1.30                       | 1.00                       | 1.30                                   | 1.00                         |
|                      | Fatigue      | 0.00                       | 0.00                       | 0.75                       | —                          | —                                      | —                            |
| Reinforced Concrete  | Strength I   | 1.25                       | 1.50                       | 1.75                       | 1.35                       | Tables 6A.4.4.2.3a-1 and 6A.4.4.2.3b-1 | —                            |
|                      | Strength II  | 1.25                       | 1.50                       | —                          | —                          | —                                      | Table 6A.4.5.4.2a-1          |
|                      | Service I    | 1.00                       | 1.00                       | —                          | —                          | —                                      | 1.00                         |
| Prestressed Concrete | Strength I   | 1.25                       | 1.50                       | 1.75                       | 1.35                       | Tables 6A.4.4.2.3a-1 and 6A.4.4.2.3b-1 | —                            |
|                      | Strength II  | 1.25                       | 1.50                       | —                          | —                          | —                                      | Table 6A.4.5.4.2a-1          |
|                      | Service III  | 1.00                       | 1.00                       | 0.80                       | —                          | 1.00                                   | —                            |
|                      | Service I    | 1.00                       | 1.00                       | —                          | —                          | —                                      | 1.00                         |
| Wood                 | Strength I   | 1.25                       | 1.50                       | 1.75                       | 1.35                       | Tables 6A.4.4.2.3a-1 and 6A.4.4.2.3b-1 | —                            |
|                      | Strength II  | 1.25                       | 1.50                       | —                          | —                          | —                                      | Table 6A.4.5.4.2a-1          |

Fuente (AASHTO, 2010)

**Factor de condición  $\phi_c$ :** el factor de condición provee una reducción que tiene en cuenta el aumento de la incertidumbre con respecto a la resistencia de los elementos deteriorados y el daño que puedan presentar a futuro.

Tabla 10. Factor de Condición:  $\varphi_c$ 

| Estado del elemento   | $\varphi_c$ |
|-----------------------|-------------|
| Bueno o satisfactorio | 1.00        |
| Regular               | 0.95        |
| Malo o pobre          | 0.85        |

Fuente (AASHTO, 2010)

**Factor de sistema  $\varphi_s$**  : el factor de sistema reduce la resistencia nominal de elementos con lo que refleja la redundancia del sistema de la superestructura, los puentes que son menos redundantes verán reducidas sus capacidades de carga en sus elementos.

Tabla 11. Factor de sistema:  $\varphi_s$ 

| Tipo de superestructura  | Factor de sistema $\varphi_s$ |
|--|-------------------------------|
| Puentes con dos miembros longitudinales soldados vigas/arcos/cerchas | 0.85                          |
| Puentes con dos miembros longitudinales pernados vigas/arcos/cerchas | 0.90                          |
| Múltiples miembros en puentes de cerchas                             | 0.85                          |
| Puentes de tres vigas separadas a 6 pies                             | 0.90                          |
| Puentes de cuatro vigas con separación < 4 pies                      | 0.95                          |
| Todos los demás puentes tipo losa-viga, o puentes tipo losa          | 1.00                          |
| Vigas de piso con separación >12 pies, y vigas no continuas          | 0.85                          |

| Tipo de superestructura                            | Factor de sistema $\varphi_s$ |
|--|-------------------------------|
| Sistemas con vigas redundantes entre vigas de piso | 1.00                          |

*Fuente (AASHTO, 2010)*

**Factor de resistencia  $\varphi$ :** factores de carga especificados en la Norma Colombiana de puentes CCP-14, (INVIAS, 2006). Tabla 3.4.1-1

**Carga muerta DC y DW:** los efectos de la carga muerta deben ser considerados teniendo en cuenta el estado en el que se encuentre la estructura. Si la evaluación se realiza tiempo después de construido el puente, todos los elementos (viga, losa, barandas, barreras, andenes, bordillos, capa de rodadura) deben ser valorados para así tener un control sobre la condición particular de cada elemento

Cargas transitorias

**Carga viva vehicular LL:** la carga viva nominal usada en la evaluación del puente debe ser elegida basada en el propósito y en el uso previsto de los resultados de la evaluación.

Los modelos de carga viva para la determinación de la capacidad de carga incluyen:

- Cargas de diseño: Camión de diseño HL-93 por (AASHTO. LRFD Specifications, 2014)
- Cargas legales. (AASHTO. LRFD Specifications, 2014)
- Cargas permitidas: Camión permitido actualmente

Los factores de carga viva de evaluación para Resistencia I de estado limite deberán tomarse así:

Tabla 12. Factor de carga para carga de diseño  $\gamma_{LL}$ 

| Nivel de evaluación | Factor de carga |
|---------------------|-----------------|
| Inventario          | 1.75            |
| Operación           | 1.35            |

Fuente (AASHTO, 2010)

**Carga viva peatonal PL:** la carga viva peatonal no debe ser considerada simultáneamente con las cargas vehiculares en el análisis de capacidad de carga, a menos de que el ingeniero tenga razones para creer en que esta pueda compararse con la máxima carga vehicular obtenida.

**Carga por viento WL y WS:** las cargas por viento no deben ser consideradas durante el análisis, a menos de que circunstancias especiales tales como luces amplias, puentes colgantes y con grandes alturas ameriten su implementación.

**Efectos por temperatura TG y TU:** los efectos por temperatura no deben ser considerados durante el desarrollo de los cálculos en el análisis de capacidad de carga. En los lugares donde la temperatura sea considerablemente alta o baja (casos extremos), este factor se tendrá en cuenta. Pues influye en el módulo de elasticidad de los materiales implementados para la construcción afectando la evaluación final.

**Capacidad de carga segura de un puente RT:** el factor RF obtenido por la ecuación (5), se puede utilizar para estimar la capacidad de carga segura de un puente así:

$$RT = RF * W \quad (6) \text{ Capacidad de carga segura de un puente}$$

Donde

$RT$  = la capacidad en peso del camión que puede transitar de manera segura.

$W$  = Peso del camión utilizado para calcular el efecto de la carga viva.

## 2.4. Tipos de Inspecciones y Frecuencia.

Las inspecciones de estructuras tipo puentes y pontones se llevan a cabo para determinar la condición física y funcional de la estructura, garantizar la seguridad del uso de los puentes para el tránsito público, determinando la condición física y funcional, a continuación, se desarrolla una guía para la inspección de las estructuras tipo puente y pontones, desde la parte de recopilación de datos hasta obtener conceptos estructurales de seguridad en el manejo de las solicitaciones a las que están expuesta estas estructuras, recomendaciones de restricción de cierto tipo de cargas, o en casos más extremos conceptos de intervención estructural o remplazo de estas estructuras.

### 2.4.1. Tipos de inspecciones

Al referirnos a tipo de inspecciones, las clasificamos de acuerdo a las diferentes rigurosidades y frecuencia de inspecciones que se hace a un puente, durante toda su vida útil, según (AASHTO, 2010). Discrimina en 7 clases de inspecciones así:

**Inspecciones iniciales:** es la primera inspección que se le realiza a un puente, se requiere cuando se han producido cambios en la configuración de la estructura por ejemplo, ensanches, alargamientos, también cuando hay un cambio en el ente responsable del correcto funcionamiento de estas estructuras, esta inspección tiene dos objetivos fundamentales, en primer lugar sirve para realizar el inventario de la estructura y valoración preliminar de sus componentes, en segundo lugar consta de la enumeración de los hallazgos, que según el juicio del personal calificado, puedan afectar el funcionamiento de la estructura.

**Inspecciones rutinarias:** nos referimos con inspecciones programadas regularmente que constan en observaciones, mediciones necesarias para determinar el estado físico y funcionales del puente, con el fin de detectar cualquier aspecto que tenga el potencial riesgo de afectar la estructura. En estas inspecciones se realiza desde la superficie de rodadura, observando y calificando todos los elementos que estén a la vista del personal calificado. El resultado de estas inspecciones se debe de documentar y archivar con el fin de tener la trazabilidad del puente inspeccionado.

**Inspecciones de daños:** esta inspección contraria a las demás inspecciones, no es programada, y su objetivo es la evaluación de daños por eventos fortuitos inesperados, causados por el hombre, o fenómenos naturales, debe de ser lo suficientemente profunda como para dar un concepto de funcionabilidad actual, permitiendo el uso actual de la estructura, o en su defecto, las restricciones o intervención total de la estructura.

**Inspecciones exhaustivas:** es una inspección a profundidad, en la cual se detallan cada uno de los elementos que componen la estructura, se debe de inspeccionar la estructura completa, incluso en zonas de difícil acceso como son debajo del nivel del agua, con el objetivo de identificar cualquier anomalía que pueda afectar la estructura. Esta inspección puede incluir una prueba de carga no destructivas, pruebas a materiales, según lo requiera. Esta inspección se programa con intervalos más extensos, producto de un seguimiento de daños a través del tiempo, o cuando sucedan eventos que pongan en riesgo la funcionabilidad de la estructura.

**Inspecciones de fractura crítica:** esta inspección atañe a la presencia de fractura crítica en puentes de acero, debe de incluir todos los elementos involucrados y el desarrollo de un plan para dicha inspección. Se debe de identificar el plan de inspección, frecuencia de seguimiento y procedimientos de remediación. Se profundiza en 2.1.15.

**Inspecciones subacuáticas:** el objetivo es analizar los elementos que están bajo el nivel de agua, consiste en sondear para localizar problemas en la subestructura, como socavación, generalmente necesita de personal calificado para trabajos bajo el agua.

**Inspecciones especiales:** una inspección especial es una inspección programada a discreción del personal responsable del puente, su principal objetivo es supervisar una deficiencia específica o por sospecha de un mal funcionamiento de la estructura, por ejemplo, socavación, asentamientos en sus apoyos. La frecuencia de esta inspección deberá de tener en cuenta la gravedad de la deficiencia conocida. En general, son inspecciones puntuales que no cubren toda la estructura.

### 2.4.2. Frecuencias de Inspecciones:

La frecuencia de inspecciones en puentes depende de varios factores, como el tipo y la edad del puente, la carga de tráfico, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas, entre otros.

la frecuencia de inspección no debe ser mayor a 24 meses. Para intervalos mayores, pero a un máximo de 48 meses se deben de justificar basados en informes del historial y análisis de desempeño previos. **según sección 4.3** (AASHTO, 2010).

Para puentes en instalaciones del ejército de EE.UU. Se deben hacer inspecciones cada año y cada tres años se deberán realizar análisis de capacidad de carga.

Para puentes en instalaciones de la fuerza aérea de los EE.UU. los intervalos de inspección no deben superar los 2 años, en casos de eventos extremos como tormentas severas, inundaciones, huracanes, se deben realizar inspecciones lo antes posible una vez terminado el evento para evaluar la posible afectación de capacidad de carga del puente. según **sección 1-6** (Departments of the Army the Air Force, 1994).

Para el ámbito nacional, el “Manual de Mantenimiento de Carreteras” (INVIAS, 2016), las inspecciones se discriminan así:

*Tabla 13. Plan de inspección de puentes (INVIAS)*

| Inspección               | Plan de Inspección   |
|--------------------------|--|
| Inspecciones someras     | Efectuadas por personal ordinario, realizadas continuamente con el fin de detectar y mitigar oportunamente eventos y/o circunstancias que puedan afectar el correcto funcionamiento de la estructura.  |
| Inspecciones principales | Efectuadas por personal especializado en periodos de 1 a 2 años, realizada visualmente, enfocándose principalmente en el estado de las diferentes partes del como por ejemplo (estado de la carpeta asfáltica, apoyos, conos y taludes, estribos, drenes, limpieza, cauce, etc.) |

---

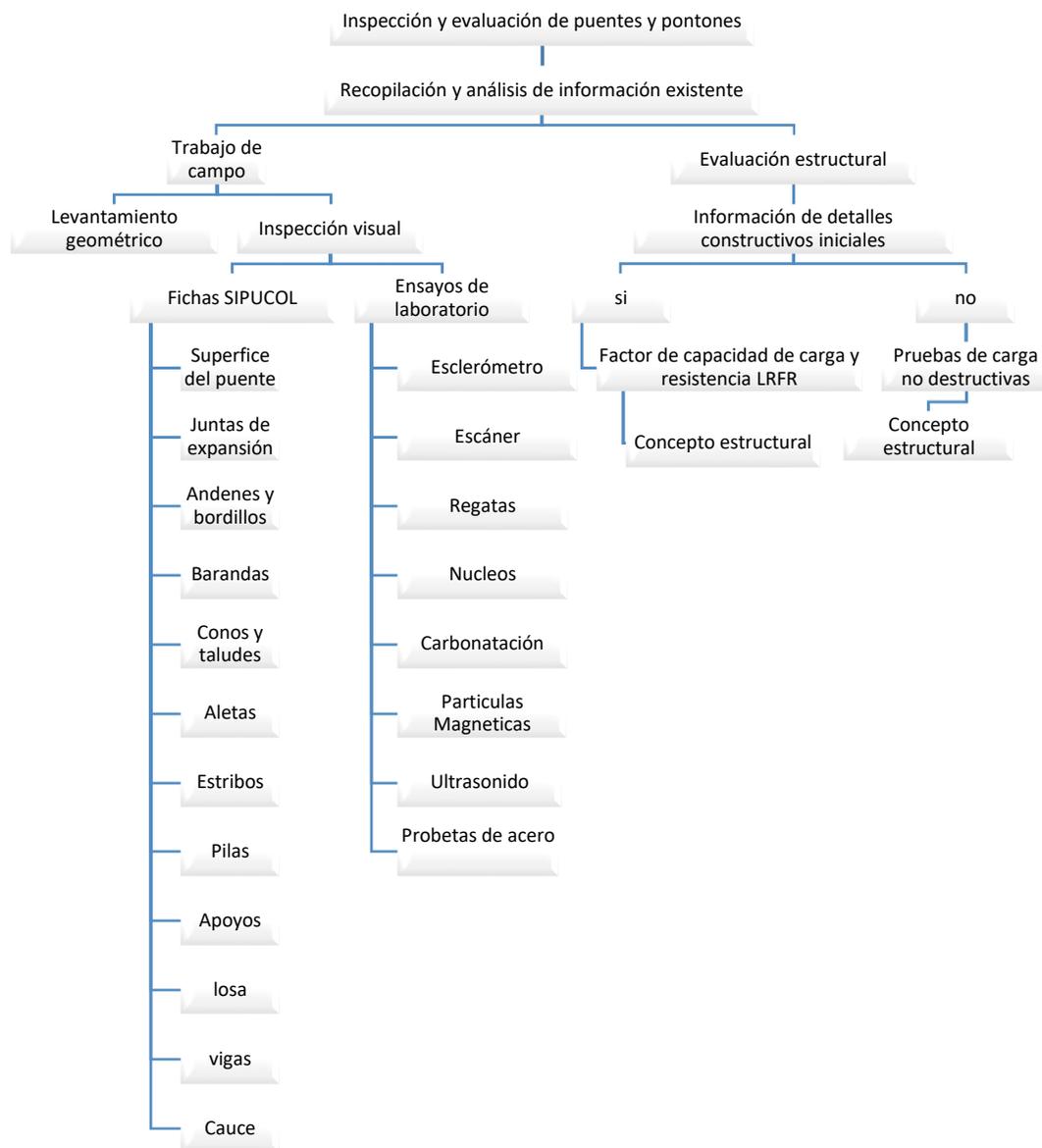
|                         |   |
|-------------------------|---|
| Inspecciones generales  | Inspecciones minuciosas, efectuadas por personal especializado en periodos de 3 a 5 años, acompañadas cuando se requieran de pruebas de resistencia de los materiales mediante ensayos de laboratorio con muestras extraídas en obra o ensayos no destructivos en obra. |
| Inspecciones especiales | Inspecciones al detalle, realizadas por circunstancias y eventos extraordinarios, con el fin de realizar una valoración técnica de la estructura  |

*Fuente (INVIAS, 2006)*

### 3. Metodología

Guía para realizar inspección y evaluación de carga de puentes y pontones.

Figura 17. Flujograma de inspección y evaluación estructural de puentes y pontones



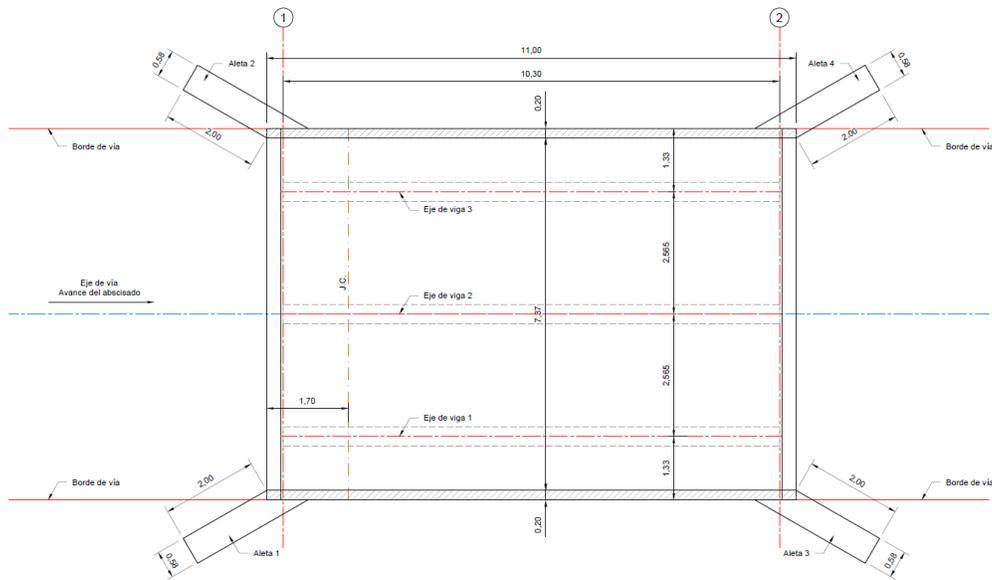
Fuente elaboración propia

**Recolección y análisis de información:** Como primer paso para realizar una inspección de estructuras tipo puentes y pontones, consiste en la recolección de información precedente que se tenga de la estructura, como son, planos de detalle de construcción, memorias de cálculo, planos topográficos de ubicación de la estructura, con el fin de obtener datos iniciales que serán de utilidad antes de realizar trabajos de campo, estos datos generalmente son: tipo de estructura, antigüedad, ubicación, algunos datos geométricos relevantes a topografía del terreno, obstáculos que salva la estructura, todo con la finalidad de realizar un plan previo para abordar la inspección y evaluación de la estructura.

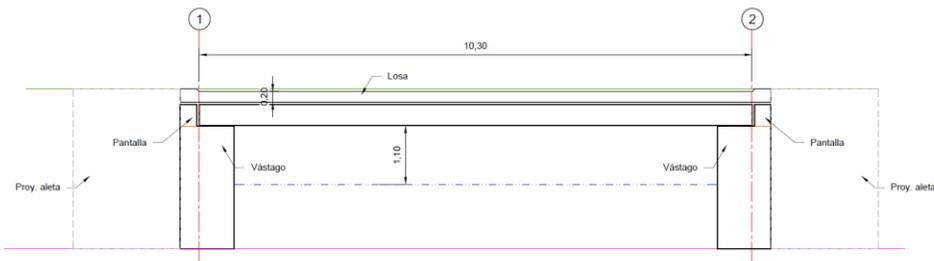
**Levantamiento geométrico:** Una vez en campo, se procederá a realizar mediciones sobre la estructura, en caso de que se tenga información preliminar es de utilidad realizar comprobaciones de datos de referencia, con datos de mediciones realizadas, inicialmente se identificará el tipo de estructura, para según sea el caso realizar el levantamiento geométrico con los elementos disponibles, **Figura 18.** un ejemplo de datos generales que pueden abarcar a la mayoría de puentes serian,

- Longitud del puente.
- Detalles del tablero (ancho de calzada, número y ancho de carriles, ancho y altura de separadores, ancho de bermas, ancho y altura de andenes y bordillos, tipo de barandas o barreras, ancho y alto de barandas, espesor de la plataforma.
- Tipos de apoyos, alto de estribos y apoyos intermedios
- Galibo, y toda medica geométrica que ayude para realzar un levantamiento adecuado de la estructura

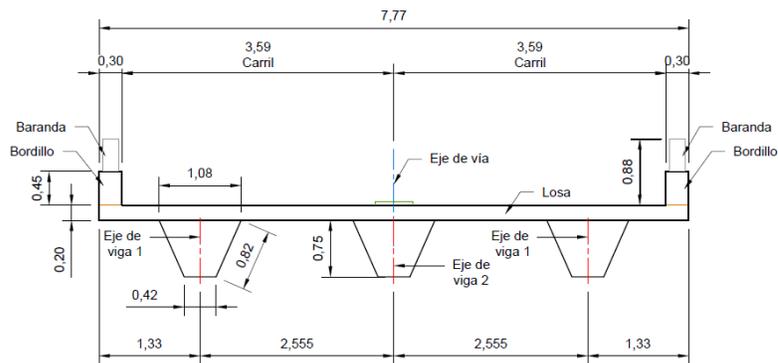
Figura 18. Levantamiento geométrico de un puente (Planta – perfil -sección transversal)



PLANTA GENERAL



PERFIL GENERAL  
ESCALA 1:50



SECCIÓN TRANSVERSAL  
ESCALA 1:50

Fuente elaboración propia

### ***3.1.1. Inspección visual de partes de un puente***

Esta inspección, se puede realizar conjuntamente con la toma de datos para el levantamiento geométrico del puente.

En este apartado, nos podemos apoyar para el caso nacional, del (INVIAS, 2006). Adicionalmente el diligenciamiento de las fichas tipo SIPUCOL. Ver **Anexos**.

Una buena práctica de inspección de estas estructuras consiste en limpiar previamente las zonas de interés, usualmente los escombros, polvo, vegetación y elementos externos ocultan los signos de deterioro en los elementos a inspeccionar, a continuación, abordaremos los principales puntos a tener en cuenta en las diferentes partes de un puente, las inspecciones deben de ser lo suficientemente detalladas y puntuales para asegurar que hay o no presencia de las siguientes patologías abajo listadas.

Estribos, aletas y pilas en apoyos intermedios:

- Grietas verticales en la unión entre los estribos y las aletas
- Fisuras y deterioro en el concreto provocados por corrosión del refuerzo
- Movimientos y asentamientos en los estribos y pilas
- Problemas de socavación en estribos y pilas.
- Segregación, hormigueros y juntas frías
- Humedad debido a drenajes provenientes de la superficie, y flujos de agua por los conos y taludes.

Losa, vigas y diafragmas:

- Perdida o falta de concreto de recubrimiento.
- Exposición del acero de refuerzo.
- Corrosión del acero de refuerzo expuesto.
- Problemas inherentes a la construcción (Segregación, hormigueros, juntas frías)
- Fisuras por sobrecarga y esfuerzos no considerados en el diseño
- Deflexiones
- Deterioro en el concreto expuesto por drenajes inadecuados.

Elementos metálicos: Vigas metálicas, perfiles, riostras, largueros, barandas, columnas

- Corrosión general o parcial.
- Pandeo local o general
- Grietas por flexión, en vigas longitudinales y transversales
- Perdidas de sección por efectos de corrosión
- Aplastamientos
- Deflexión excesiva
- Perdida de pintura o recubrimiento

Conexiones en estructuras metálicas:

- Excentricidad
- Tensión en las platinas
- Aplastamiento en platinas
- Desgarramientos
- Corte en el conector
- Bloque cortante
- Deficiencias en la soldadura
- Corrosión generalizada

Cauce:

- Inestabilidad en taludes o terraplenes adyacentes a la estructura
- Erosión en el lecho y márgenes del río
- Socavación general del cauce.
- Obstrucción del cauce por escombros,
- Presencia de vegetación

### ***3.1.2. Inspecciones según tipología de puentes***

la inspección de puentes puede variar según el tipo de puente que se inspeccione. A continuación, se describen las principales categorías de puentes y los aspectos que se deben tener en cuenta en su inspección:

**Puentes de hormigón reforzado:** la inspección de puentes de hormigón armado puede variar dependiendo de la edad del puente y las condiciones en las que se encuentra. En general, se realizan inspecciones visuales y pruebas no destructivas para evaluar el estado del puente. Algunos de los aspectos que se consideran durante la inspección pueden incluir:

- Evaluación de la condición del hormigón: se realiza una inspección visual para identificar cualquier signo de deterioro, como grietas, desprendimientos, eflorescencias, manchas o decoloraciones.
- Evaluación de la armadura de acero: se busca la presencia de corrosión en la armadura, que puede ser causada por exposición al agua o productos químicos. Se pueden realizar pruebas no destructivas para determinar el espesor de la capa de hormigón que cubre la armadura y así detectar posibles puntos de corrosión.
- Evaluación de la capacidad de carga: se realizan pruebas de carga para determinar la capacidad de carga actual del puente y su resistencia a cargas adicionales.
- Evaluación del estado de los apoyos: se inspeccionan los apoyos del puente para detectar signos de deterioro o daño. Se verifica que los elementos de apoyo estén en su lugar y funcionen correctamente
- Evaluación de los elementos estructurales: se inspeccionan los elementos estructurales del puente, como vigas, columnas, losas y pilares, para detectar cualquier deformación, agrietamiento, corrosión o daño.
- Evaluación del sistema de drenaje: se inspeccionan los sistemas de drenaje para asegurarse de que estén funcionando correctamente y que el agua no se esté acumulando en las superficies o generando humedades por infiltraciones.

**Puentes atirantados y colgantes:** la inspección de puentes atirantados y colgantes requiere de un enfoque específico debido a la naturaleza de su diseño estructural. En general, estos puentes se componen de una torre central alta y una serie de cables que se extienden hacia los extremos del puente, sujetando la plataforma de la carretera. En la inspección de puentes atirantados y colgantes, se presta especial atención a los siguientes elementos:

- Cables: los cables son el componente principal de los puentes atirantados y colgantes, por lo que se debe prestar especial atención a su tensión y estado de corrosión. La inspección incluye la evaluación de la corrosión, la deformación, la sección transversal y la rotura de los cables.
- Torres: las torres sostienen los cables del puente, por lo que deben ser inspeccionadas para verificar su verticalidad, estabilidad y resistencia a la corrosión.
- Anclajes: los anclajes sostienen los extremos de los cables del puente y se fijan a la torre o al estribo. Se debe inspeccionar el anclaje para verificar su estabilidad y sujeción al concreto.
- Tablero: el tablero de un puente atirantado o colgante está suspendido por los cables, por lo que se debe inspeccionar para verificar la deformación, la nivelación, la integridad estructural y la resistencia.

### 3.2. Índice de demanda / capacidad

El índice de demanda/capacidad en puentes de seguridad utilizada en la evaluación de puentes, que se calcula dividiendo la demanda máxima esperada en el puente por su capacidad resistente mínima requerida.

La demanda se refiere a la carga máxima esperada en el puente durante su vida útil, mientras que la capacidad se refiere a la carga máxima que el puente puede soportar sin sufrir daños ni fallas estructurales.

Un índice de demanda/capacidad menor 1 indica que el puente tiene suficiente capacidad para soportar la carga esperada sin riesgo de falla, mientras que un índice mayor a 1 indica que la capacidad del puente es insuficiente y puede ser necesario tomar medidas de rehabilitación o reemplazo para garantizar la seguridad.

Es importante tener en cuenta que el cálculo del índice de demanda/capacidad requiere una evaluación cuidadosa de la demanda y la capacidad, y que los resultados pueden ser influenciados por diversos factores, como la incertidumbre en las cargas esperadas, las propiedades de los materiales y la calidad de la construcción.

### **3.3. Plan de Mantenimiento de puentes y pontones**

Según Manual de Mantenimiento de Carreteras (INVIAS, 2016), recomienda seguir las siguientes actividades para el mantenimiento de puentes y pontones. ver **Anexos**

#### 4. Conclusiones

Los puentes y pontones, son estructuras indispensables de la red vial de un lugar y por tal motivo, es de interés su buen funcionamiento, así mismo como su durabilidad, por tal motivo, seguir planes de inspecciones periódicas son fundamentales, para la detección temprana de patologías que puedan afectar su funcionabilidad o recorten su vida útil.

La metodología de inspección y evaluación de puentes y pontones presentada en este informe se basa en: inspección visual, mediante el diligenciamiento de fichas tipo SIPUCOL, el análisis de capacidad de carga se aborda mediante el factor de capacidad de carga y resistencia propuesto por (AASHTO, 2010).

El factor de capacidad de carga y resistencia " $RF$ ", es un coeficiente específico de cada elemento que componen la estructura, según (AASHTO, 2010) para  $RF \geq 1$  nos dice que el nivel de seguridad del elemento evaluado es satisfactorio, en cambio para  $RF < 1$ , el elemento no cumple los requisitos de seguridad y necesita ser intervenido.

La frecuencia de inspección de estructuras tipo puentes y pontones deben ser de periodos no mayores a 24 meses, con el fin de detecciones de patologías que puedan afectar el comportamiento seguro de las estructuras tipo puentes y pontones.

La profundidad y frecuencia de inspección de un puente generalmente dependerá de los factores como antigüedad, características de tráfico, estado de mantenimiento, patologías conocidas y condiciones climáticas, realizando inspecciones frecuentes en caso de eventos ambientales extremos. Como tormentas fuertes, inundaciones, cargas excesivas, terremotos o deterioro evidente.

Las pruebas de carga no destructivas son pruebas que se realiza con el fin de verificar de forma experimental, que las propiedades mecánicas de los elementos que conforman la superestructura del puente sean las adecuadas y cumplan con las solicitaciones del proyecto y en general que la estructura tenga el comportamiento previsto en la etapa del diseño.

### **Bibliografía**

- AASHTO. (2010). *The Manual for Bridge Evaluation*. Washington, DC.
- AASHTO. LRFD Specifications. (2014). *LRFD Bridge Design Specifications*.
- ACI 224R-01. (s.f.). *Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica . (1995). *Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes. CCDSP-95 Anexo D.3.6*. Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías.
- Departments of the Army the Air Force. (1994). *Bridge Inspection, Maintenance, and Repair*. Washington, DC.
- FHWA NHI 03-001. (2002). *Bridge Inspector's Reference Manual*. National Highway Institute.
- fib. (2007). *Seismic bridge design and retrofit - structural solutions*.
- Guzmán, D. S. (2006). *Durabilidad y Patología del Concreto*.
- INVIAS. (2006). *Manual para la Inspección Visual de Puentes y Pontones*. Bogotá D.C.
- INVIAS. (2014). *Norma Colombiana de Diseño de puentes CCP-14*.
- INVIAS. (2016). *Manual de Mantenimiento de carreteras*.

Anexos 1

Figura 19. Ficha SIPUCOL. Datos generales

| <b>INSTITUTO NACIONAL DE VIAS</b><br><b>SECRETARIA GENERAL TECNICA</b><br><b>Sistema de Administración de puentes</b><br><b>SIPUCOL</b>   |      |                      |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
|---|------|----------------------|---------|----------|----|---|------|-------------------|---------|-------------|--|--|--|------|-------|-------|---|----|----|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|----------|--|-------|--|-------|--|-------|--|-----------|--|-----------|--|----------------------|--|----------------------|--|
| <b>FORMATO DE INVENTARIO DE PUENTES</b>   |      |                      |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Nombre:   |      | Identif.             |         | Regional |    | Carretera                                     |      | Ident. del puente |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
|   |      |                      |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Carretera:  |      |                      |         | PR       |    | Regional                                      |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| PASOS   |      |                      |         |          |    | SUBESTRUCTURA                                 |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th>Tipo</th> <th>Primero</th> <th>Sup/Inf</th> <th colspan="4">Gálibo</th> </tr> <tr> <th>Paso</th> <th>(S/N)</th> <th>(S/I)</th> <th>I</th> <th>IM</th> <th>DM</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |      |                      |         |          |    | No.   | Tipo | Primero           | Sup/Inf | Gálibo      |  |  |  | Paso | (S/N) | (S/I) | I | IM | DM | D | 1 |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  |  |  |  | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESTRIBOS</th> <th colspan="2">PILAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo:</td> <td></td> <td>Tipo:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Material:</td> <td></td> <td>Material:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tipo de cimentación:</td> <td></td> <td>Tipo de cimentación:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |  |  |  |  |  | ESTRIBOS |  | PILAS |  | Tipo: |  | Tipo: |  | Material: |  | Material: |  | Tipo de cimentación: |  | Tipo de cimentación: |  |
| No.   | Tipo | Primero              | Sup/Inf | Gálibo   |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
|   | Paso | (S/N)                | (S/I)   | I        | IM | DM  | D    |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| 1   |      |                      |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| 2   |      |                      |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| ESTRIBOS  |      | PILAS                |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Tipo:   |      | Tipo:                |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Material:   |      | Material:            |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Tipo de cimentación:  |      | Tipo de cimentación: |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| DATOS ADMINISTRATIVOS   |      |                      |         |          |    | DETALLES                                      |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Año de construcción   |      |                      |         |          |    | Detalles de baranda                           |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Área de construcción:   |      |                      |         |          |    | Superf. De rodadura                           |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Dirección de absc. De la carret. (NS/E/O)   |      |                      |         |          |    | Junta de expansión                            |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Requisitos de inspección:   |      |                      |         |          |    | SEÑALES                                       |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Número de secciones de inspección   |      |                      |         |          |    | Carga máxima:                                 |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Estación de Conteo  |      |                      |         |          |    | Velocidad Máxima:                             |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Fecha de recolección de datos   |      |                      |         |          |    | Otra  |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Iniciales del inspector   |      |                      |         |          |    | Puente  |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
|   |      |                      |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| DATOS TÉCNICOS  |      |                      |         |          |    | APOYOS  |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Geometría   |      |                      |         |          |    | Tipo de apoyos fijos sobre estribos           |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Número de luces   |      |                      |         |          |    | Tipos de apoyos móviles sobre estribos        |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Longitud luz menor (m)  |      |                      |         |          |    | Tipo de apoyos fijos en pilas                 |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Longitud Luz mayor (m)  |      |                      |         |          |    | Tipos de apoyos móviles en pilas              |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Longitud total (m)  |      |                      |         |          |    | Tipos de apoyos fijos en vigas                |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Ancho de tablero (m)  |      |                      |         |          |    | Tipos de apoyos móviles en vigas              |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Ancho del separador (m)   |      |                      |         |          |    | Vehículo de diseño                            |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Ancho del andén del izquierdo (m)   |      |                      |         |          |    | Clase de distribución de carga                |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Ancho del andén del derecho (m)   |      |                      |         |          |    | MIEMBROS INTERESADOS                          |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Ancho de la calzada (m)   |      |                      |         |          |    | Propietario                                   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Ancho entrebordillos (m)  |      |                      |         |          |    | Departamento                                  |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Altura de pilas (m)   |      |                      |         |          |    | Administración Vial                           |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Altura de estribos (m)  |      |                      |         |          |    | Proyectista                                   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Longitud de apoyo en pilas (m)  |      |                      |         |          |    | Municipio                                     |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Longitud de apoyo en estribos (m)   |      |                      |         |          |    | POSICIÓN GEOGRÁFICA                           |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Puente en terraplén (S/N)   |      |                      |         |          |    | Grados  |      | Minutos           |         | Altitud (m) |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Puente en cobertura /tangente (C/T)   |      |                      |         |          |    | Latitud (N)                                   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Esviajamiento (gra)   |      |                      |         |          |    | Longitud (O)                                  |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| SUPERESTRUCTURA , Tipo principal  |      |                      |         |          |    | Coeficiente de aceleración sísmica (Aa):      |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Diseño tipo (S/N)   |      |                      |         |          |    | Paso por el cauce (S/N)                       |      | Long. Variante    |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Tipo de estructuración transversal:   |      |                      |         |          |    | Existe variante (S/N)                         |      | Estado (B/R/M)    |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Tipo de estructuración longitudinal:  |      |                      |         |          |    | CARGA   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Material:   |      |                      |         |          |    | Capacidad de carga para tránsito legal        |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| SUPERESTRUCTURA , Tipo secundario   |      |                      |         |          |    | Long. Luz crítica (m)                         |      | Factor de Clasif: |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Diseño tipo (S/N)   |      |                      |         |          |    | Capacidad de carga para transporte especiales |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Tipo de estructuración transversal:   |      |                      |         |          |    | Fuerza cortante (t)                           |      | Momento (Lm)      |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Tipo de estructuración longitudinal:  |      |                      |         |          |    | Línea de carga por rueda (t)                  |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
| Material:   |      |                      |         |          |    | Observaciones                                 |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |
|   |      |                      |         |          |    |   |      |                   |         |             |  |  |  |      |       |       |   |    |    |   |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |          |  |       |  |       |  |       |  |           |  |           |  |                      |  |                      |  |

Figura 20. Ficha SIPUCOL. Inspección y calificación.

| <b>INSTITUTO NACIONAL DE VIAS</b>                 |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|--------------|--------------|------------------------|-------|-------------------|--|
| <b>SECRETARIA GENERAL TECNICA</b>                 |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| <b>Sistema de Administración de puentes</b>       |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| <b>SIPUCOL</b>                                    |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| <b>FORMATO DE INSPECCIÓN PRINCIPAL DE PUENTES</b> |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| Nombre:   |           | Identif.  |           |                 | Regional  |              | Carretera    |                        |       | Ident. del puente |  |
| Carretera:  |           | PR        |           | Fecha           |           | Tiempo       |              |                        |       |                   |  |
| Temperal:   |           | Inspector |           | LyL Consultores |           | Adminstrador |              | Año próxima inspección |       |                   |  |
| Componente  | Calificac | Mantenim  | Inp. Esp. | No. De f        | Tipo de f | Tipo         | Reparaciones |                        |       | Daño              |  |
|   |           |           |           |                 |           |              | Cant.        | Año                    | Costo |                   |  |
| 1. Superficie del puente                          |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 2. Juntas de expansión                            |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 3. Andenes / Bordillos                            |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 4. Barandas                                       |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 5. Conos /Taludes                                 |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 6. Aletas   |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 7. Estribos                                       |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 8. Pilas  |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 9. Apoyos   |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 10. Losa  |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 11. Vigas / Largueros/                            |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 12. Elementos de arco                             |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 13. Cables /Pendolones/                           |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 14. Elementos de armadura                         |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 15. Cauce   |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 16. Otros elementos                               |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| 17. Puente en general                             |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |
| Observaciones generales:                          |           |           |           |                 |           |              |              |                        |       |                   |  |

**Anexos 2**

Tabla 14. Plan de mantenimiento de puentes (INVIAS, 2016)

| <i>Intervención</i>                     | <i>Especificaciones</i>  | <i>Frecuencia</i>   |
|---|--|---|
| <i>Limpieza de losa de aproximación</i> | Se deberán retirar las basuras, vegetación, piedras y demás obstáculos (sustancias líquidas, semilíquidas, objetos pesados, etc.) de estas zonas de acceso, empleando equipos manuales o mecánicos según resulte necesario. Así mismo, se deberán remover sustancias como tierra, polvo y barro. Cuando se encuentren sustancias adheridas, se deberán desprender mediante el uso de gratas y/o con la ayuda de aire comprimido o de agua a presión. El equipo por utilizar dependerá del grado de adhesión que tengan estas sustancias. | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que la losa presenta una gran cantidad de basura, vegetación u otros obstáculos que afecten su correcto funcionamiento.                   |
| <i>Limpieza de juntas de dilatación</i> | Retiro de residuos de tierra, vegetación o cualquier otro tipo de material que se acumule alrededor o en el interior de las juntas de dilatación, empleando métodos manuales o mecánicos según resulte necesario.  | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que las juntas de dilatación presenten una gran cantidad de basura, vegetación u otros obstáculos que afecten su correcto funcionamiento. |
| <i>Limpieza de andenes y bordillos</i>  | Las basuras, vegetación y demás obstáculos que se encuentren en andenes y bordillos se deberán retirar mediante el uso de equipos manuales o mecánicos adecuados para esta labor. En el caso de tierra, polvo y basura de  | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que los andenes y bordillos presenten una gran cantidad de basura,  |

| <i>Intervención</i>                | <i>Especificaciones</i>  | <i>Frecuencia</i>  |
|------------------------------------|--|--|
| <i>Limpieza de conos y taludes</i> | <p>tamaño reducido que se encuentren en los andenes o bordillos, se retirarán mediante la ayuda de aire comprimido o escoba.</p> <p>Mediante el uso de los equipos manuales o mecánicos que resulten apropiados, se deberán retirar de los conos y taludes toda maleza, rastrojo, troncos y demás obstáculos.</p>  | <p>vegetación u otros obstáculos que afecten su correcto funcionamiento.</p> <p>Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que los conos y los taludes presenten una gran cantidad de basura, vegetación u otros obstáculos que afecten su correcto funcionamiento.</p> |
| <i>Limpieza de drenes</i>          | <p>Se deberá retirar de los drenes cualquier material sólido como partículas de suelo, piedras, vegetación, trozos de madera, basura u otros desperdicios y, a continuación, se deberán limpiar, verificando que el agua fluya libremente por cada uno de ellos. Para esta labor se deberán usar cepillos de alambre o fibra y, si es necesario, aire comprimido o sistemas de agua.</p> | <p>Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que los drenes presenten una gran cantidad de basura, vegetación u otros obstáculos que afecten su correcto funcionamiento.</p>   |
| <i>Limpieza de apoyos</i>          | <p>Mediante el uso de equipos manuales o mecánicos, según resulte más apropiado, se deberán quitar las basuras, vegetación y demás obstáculos existentes en los apoyos y sus alrededores. En el caso de que se</p>   | <p>Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que los apoyos presenten una gran cantidad de basura, vegetación u otros obstáculos que</p>   |

| <i>Intervención</i>   | <i>Especificaciones</i>  | <i>Frecuencia</i>   |
|---|--|---|
|   | encuentren tierra, polvo y barro, se retirarán con ayuda de aire comprimido y cepillos.  | afecten su correcto funcionamiento.   |
| <i>Limpieza de superficies de concreto con agua a presión</i> | se procederá a la limpieza de las superficies de concreto del puente tales como estribos, pilas, aletas, vigas, diafragmas, placa y cualquier otro elemento del mismo material que haga parte de la estructura, empleando una máquina hidro lavadora aplicando agua limpia, con una presión variable no mayor de 34 MPa, con el fin de remover de polvo, grasa, materia orgánica y, en general, todo material deletéreo que afecte la estética o pueda afectar adversamente la durabilidad del concreto. | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que en las superficies de concreto haya presencia de polvo, grasa, materia orgánica y, en general, todo material deletéreo que afecte la estética o pueda afectar adversamente la durabilidad del concreto. |
| <i>Limpieza de superficies metálicas con agua a presión</i>   | La limpieza de las superficies metálicas tales como vigas de alma llena, celosías, arcos y cualquier otro elemento metálico que haga parte del puente, con el fin de retirar las partículas de polvo, grasa, materia orgánica, microorganismos, etc., para evitar el deterioro y la disminución de su durabilidad. Con agua a presión, se deberá efectuar de acuerdo con lo pertinente de las especificaciones SSPC-SP WJ-1, SSPC-SP WJ-2, SSPC-SP WJ-3, SSPC-SP WJ-4.                                   | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que en las superficies metálicas haya presencia de polvo, grasa, materia orgánica, que afecte la estética y/o pueda generar deterioro y disminución de su durabilidad.                                      |
| <i>Limpieza con chorro de arena y pintura de</i>              | Se efectuará una limpieza general de la estructura con chorro de arena (sandsblasting). Existen varios grados para llevarla a cabo, dependiendo del estado en  | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe áreas con corrosión severa, corrosión con   |

| <i>Intervención</i>                      | <i>Especificaciones</i>   | <i>Frecuencia</i>  |
|--|---|--|
| <i>estructuras de acero</i>              | que se encuentre la pintura y la calificación de corrosión obtenida: leve, moderada o severa. Al respecto, se deberán aplicar los procedimientos recomendados en el manual de pintura de la SSPC.   | laminaciones y picaduras y donde la pintura haya perdido adherencia, que excedan el 10% de la superficie total de la estructura o del elemento en estudio, o de estructuras nuevas sin recubrimiento.  |
| <i>Reemplazo de juntas de dilatación</i> | Remoción de una junta, bien sea metálica o elastomérica, que se encuentre en mal estado y requiera su reemplazo por una unidad nueva. La junta nueva podrá ser del mismo tipo de la defectuosa o, por el contrario, podrá ser de otro tipo que ofrezca mayor durabilidad.   | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe juntas de dilatación en mal estado, que necesiten reparación y/o reemplazo   |
| <i>Reposición de apoyos</i>              | Sustitución de los apoyos que transmiten las cargas de la superestructura a la infraestructura o subestructura del puente que, debido al uso y a la acción de los agentes ambientales, presenten daños como aplastamiento, agrietamiento y deformación de las almohadillas de material elastomérico y corrosión severa en las placas y aditamentos metálicos. | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que los apoyos, de cualquier tipo, se encuentren desalineados respecto del eje de la viga, que no estén sensiblemente paralelos al plano de apoyo de la viga, o que presenten deformaciones, aplastamientos de sus caras laterales o |

| <i>Intervención</i>                               | <i>Especificaciones</i>  | <i>Frecuencia</i>  |
|---|--|--|
| <i>Reparación de carpeta asfáltica</i>            | Trabajos necesarios para reparar desprendimientos y otros deterioros localizados de la capa de rodadura asfáltica de un puente. También aplica a la reposición total de la capa de rodadura del puente.  | cualquier otra evidencia de deterioro.<br>Se debe de llevar a cabo cuando se compruebe en la carpeta asfáltica signos de agrietamientos, depresiones, y desprendimientos, así como la renivelación de bermas construidas con materiales no tratados. |
| <i>Construcción y reposición de drenes</i>        | Instalación de tubería en los drenes existentes a lado y lado del tablero del puente que no la posean, así como a la reposición de tubería en aquellos que la poseen, pero no presenta un buen funcionamiento. Se refiere, también, a la construcción de los drenes y a la instalación de tuberías en los tableros donde ellos no existan o su cantidad se considere insuficiente. | Se debe de llevar a cabo cuando en el tablero se evidencie carencia y/o drenes en mal estado, generando encharcamientos en la calzada afectando la durabilidad y buen funcionamiento de los elementos aledaños del puente                            |
| <i>Reparación, limpieza y pintura de barandas</i> | En la eventualidad de que sea necesario reponer piezas, elementos o tramos completos de barandas, bien sea en concreto o metal, estas acciones se adelantarán y reconocerán de acuerdo con los Artículos 630, “Concreto estructural”, 632,   | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe que las barandas se encuentran en mal estado, necesitando  |

| <i>Intervención</i>           | <i>Especificaciones</i>  | <i>Frecuencia</i>  |
|-------------------------------|--|--|
|                               | “Barandas de concreto”, y 650, “Estructuras de acero”, de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto, según corresponda.   | intervención limpieza y/o reparación.  |
| <i>Recalce de cimentación</i> | Reparación de la cimentación (pilas, estribos o aletas) del puente o pontón mediante la colocación de concreto ciclópeo, en el área donde se ha perdido parcialmente área de contacto entre el apoyo y el suelo de fundación. Previo a efectuar el realce de las cimentaciones, se debe verificar que la zapata no presente fisuras, en caso tal, debe ser reparada la superficie de concreto. Esta actividad incluye el manejo de aguas del río, aguas arriba del mismo, para su desvío, delimitación del área de trabajo, excavación, encofrado, colocación de concreto y del relleno en caso de requerirse. | Se debe llevar a cabo cuando se compruebe mediante una inspección detallada el estado de los elementos estructurales y se verifique fisuras y daños que necesiten reparación y/o recalce del elemento. |