

Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia

Analysis of the evolution of damage in the bridges of Colombia

Edgar Muñoz^{1,2*}, David Gómez^{3*}

* Pontificia Universidad Javeriana. COLOMBIA

Fecha de Recepción: 01/06/2011

Fecha de Aceptación: 20/10/2011

PAG 37 - 62

Resumen

Se presenta la identificación y evolución de daños en casi dos mil puentes de Colombia, para tres periodos de inspección (1996-1997, 2001-2002 y 2007-2008), basándonos en levantamientos presenciales realizados en el Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) con la metodología del Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL). Para ello, se realizó un arduo trabajo de consolidación de los daños que se presentaron en los componentes principales de los puentes, tipificación, calificación, sus niveles de durabilidad, estabilidad y servicio, así como la evaluación de las obras de mantenimiento y rehabilitación implementados, con los cuales se procedió a los análisis y comparaciones por período. Así, se pudo concluir con la identificación de los grupos de puentes en buen estado, los de condiciones regulares y aquellos con daños graves y riesgo de colapso, las medidas urgentes de previsión y reparación que se detallan, así como el aporte a procesos de diagnóstico y procedimientos para inspecciones especiales. Por otro lado, la sola implementación del Sistema de Administración de puentes en un país entero, es una experiencia procedimental importante que deseamos sirva de referencia para otros diagnósticos y para el consolidado del estado de los puentes en América Latina en los temas de conservación y recuperación.

Palabras Clave: Puentes, inspección, mantenimiento, rehabilitación, daños

Abstract

In this document the identification and damage evolution of nearly two thousand bridges in Colombia is shown during three evaluation terms (1996 – 1997, 2001 – 2002 and 2007 – 2008). The main recognition bases were the surveys developed by the National Roads Institute (INVIAS), by including the methodology by Colombian Bridge Management System (SIPUCOL). Special efforts were made to identify damages undergone by bridges main components including typification, qualification, durability levels, stability and service operation; as well as the assessment of implemented maintenance and restoration tasks, which were used for the analyses and comparisons per period. The identification of bridges was concluded, sorting the bridge conditions, from bridges in good conditions to those with major damage and risk of collapse. Preventive and corrective actions are also described, as well as the contribution to diagnoses processes and procedures for additional inspections. On the other hand, the mere implementation of the Bridge Management System in the whole country is a positive know-how achievement we wish to share as a reference for further diagnosis of bridges conditions in Latin America regarding conservation and restoration issues.

Keywords: Bridges, inspection, maintenance, restoration, damage

1. Introducción

Los puentes hacen parte principal de las obras de la infraestructura vial de un País, en este caso Colombia, y por tanto los objetivos de la Ingeniería, son asegurar su conservación y funcionamiento con seguridad. Esta importante labor se consigue con un Sistema integral de Administración de Puentes, que involucra actividades de inventario, inspección (diagnóstico), capacidad de carga, mantenimiento y rehabilitación. Para lograr estos objetivos el INVIAS implementó en 1996 el Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL), con el objeto de mejorar y complementar la gestión técnica y administrativa de los puentes del País, e integró cuatro módulos: Inventario, inspección principal, inspección especial, inspección rutinaria y capacidad de carga. En particular, el módulo de Inspección principal consiste en una inspección visual para la evaluación de cada uno de los componentes del puente, donde se identifica el estado de la estructura, los tipos de daños y las reparaciones necesarias, otorgando así una calificación basada en una escala cualitativa previamente definida (Instituto Nacional de Vías, et al., 1996).

1. Introduction

Bridges are road's major infrastructure civil works in a country, in this case Colombia. Therefore, the purpose of engineers is to ensure their conservation and their security operation conditions. This significant task is achieved by applying an integral Bridge Management System, which involves inventory, inspection (diagnosis), loading capacity, and maintenance and restoration activities. In order to achieve such objectives, in 1996 the INVIAS implemented the Bridge Management System in Colombia (SIPUCOL), so as to improve and support technical and administrative management of bridges in this country. They implemented five modules: Inventory, main inspection, special inspection, routine inspection and loading capacity. Particularly, main inspection module consists of a visual inspection to evaluate each component in a bridge, where the structure condition is identified as well as damages and required restoration measures, thus providing a classification based on a previously defined qualitative scale (National Roads Institute et al 1996).

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:
E-mail: edgar.munoz@javeriana.edu.co

² Ingeniero Civil, Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Jefe de la sección de estructuras del Departamento de Ingeniería Civil. Grupo de estructuras y construcción. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. Colombia

³ Ingeniero Civil, Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Director de la Especialización en Gerencias de Construcciones y Tecnología de construcciones en edificaciones. Grupo de estructuras y construcción. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. Colombia



En la Figura 1 se muestra el resumen metodológico de la inspección principal implementada en cada uno de los puentes diagnosticados.

Figure 1 shows the method resume for the main inspection implemented on each diagnosed bridge.

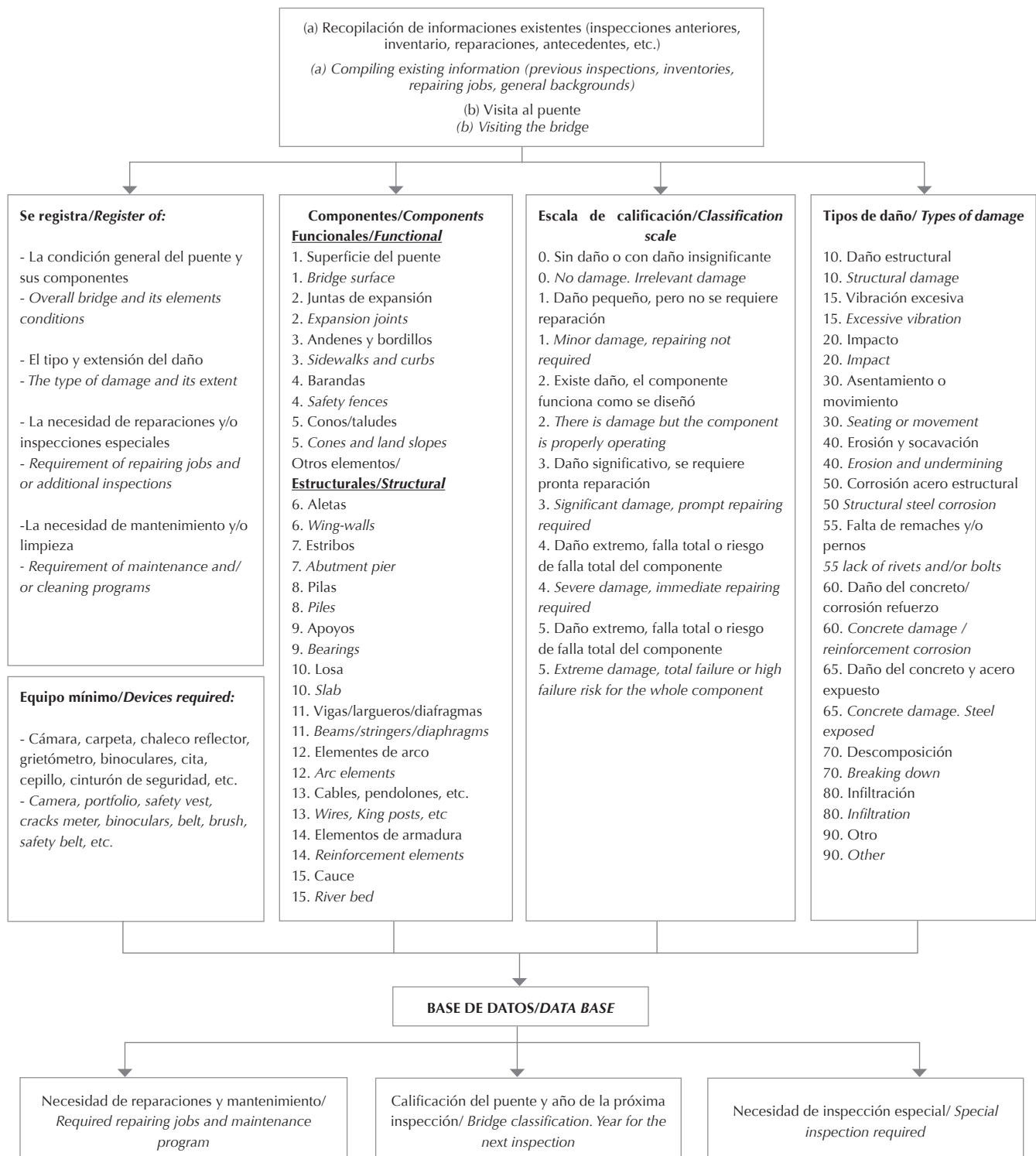


Figura 1. Resumen metodológico de la inspección principal (Muñoz, E. et al., 2004)
Figure 1. Methodologist Summary of the main inspection (Muñoz, E. et al., 2004)

Desde el año 2002, el grupo de Estructuras de la Pontificia Universidad Javeriana realizó una investigación sobre el estado y los daños típicos de los puentes de Colombia [(Muñoz E., 2001), (Muñoz E. et al., 2004) y (Muñoz E., 2006), (Muñoz E. et al., 2008) y (Muñoz E., 2013)], la cual se basó en los resultados de las inspecciones visuales realizadas por el INVIAS en los periodos 1996-1997 (Registros de 1995 puentes) y 2001-2002 (Registros de 2399 puentes), esa investigación se complementó incluyendo los resultados de las inspecciones realizadas por esta misma Institución en el periodo 2007-2008 (Registros de 2633 puentes). En particular, nuestro grupo de investigación sistematizó, analizó, y generó recomendaciones y conclusiones para los puentes del país.

Toda esta labor muestra nuestros propósitos en estos temas, que se resumen en aportar a los mejores resultados del SIPUCOL, debido a su indiscutible beneficio para el buen estado de los puentes y por tanto mantener su aporte al desarrollo económico del país. Un propósito adicional, es sistematizar la experiencia procedimental de investigación, de manera que sirva de referencia para otros diagnósticos, divulgar y encontrar un crecimiento conjunto con otros grupos de investigación afines al tema. Igualmente algunos de los resultados más importantes de esta investigación hacen parte del libro de ingeniería de puentes que está proceso (Muñoz E., 2011).

2. Desarrollo del trabajo

2.1 Diagnóstico sobre la Inspección principal de campo

2.1.1 Superficie de rodadura

En los puentes con superficie de rodadura en asfalto se han encontrado desconches y baches generalizados en la carpeta y además fisuras típicas de piel de cocodrilo (Figura 2). En los puentes de carpeta de rodadura en concreto, hay descomposición del material por encharcamiento del agua combinado con la insuficiente capacidad estructural del pavimento debido al desnivel y al mal manejo de las aguas de escorrentía sobre los tableros (inadecuado bombeo y falta de drenes).



Figura 2. Carpeta descompuesta, grietas de cocodrilo
Figure 2. Damaged layer, map-cracking

Since 2002, the Structures Team of the Pontificia Universidad Javeriana has developed a research on the condition and typical damages existing in Colombian bridges [(Muñoz E., 2001), (Muñoz E. et al., 2004), (Muñoz E., 2006), (Muñoz E. et al., 2008) and (Muñoz E., 2013)]. This research was based on the results provided by visual inspections developed by the INVIAS during the years 1996-1997 (1995 bridges inspected) and 2001-2002 (2399 bridges inspected). Such research was supplemented by including the results of inspections carried out by the same institution during the period 2007-2008 (2633 bridges inspected). Particularly, our research team organized, analyzed and provided recommendations and conclusions for the bridges in our country.

This task demonstrates our purposes on these topics, which are summarized as a contribution to the best results achieved by SIPUCOL, due to their undeniable benefit for bridges good conditions and, therefore, to maintain a contributive support to the economical development of our country. An additional purpose is to organize the procedure experience of this research, so that it can be used as a reference for further diagnoses; to broadcast and achieve a shared development with other research teams on this subject. Besides, the most relevant results of this research are included in the bridges engineering book, which is still under elaboration (Muñoz E., 2011).

2. Work development

2.1 Diagnosis on the work site Main Inspection

2.1.1 Tread Layer

Widespread chippings and pot holes have been found in asphalt tread layer bridges, as well as typical map crackings (Figure 2). Concrete tread layer bridges show material wearing out due to water flooding, combined with the pavement insufficient structural capacity due to the gradient and poor water-runoff manipulation on decks (inadequate pumping and lack of drainage systems).

Se encontró que el estado de este componente permanece estable, ya que los porcentajes de calificación no variaron en los periodos analizados (Figura 3. Estado de la superficie de rodadura). El tipo de daño más frecuente es la descomposición. La reparación más sugerida es el cambio de pavimento asfáltico y el aumento de labores de mantenimiento.

It was concluded that the condition of the tread layer remains stable, as the classification percentages did not change during the analyzed periods (Figure 3). Breaking down is the most frequent damage. The suggested restoration measurement is the replacement of asphalt layer, as well as the increase of the maintenance program.

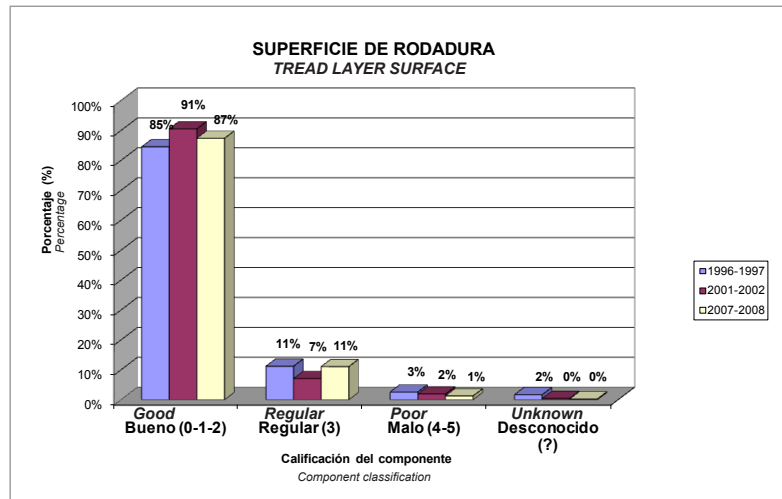


Figura 3. Estado de la superficie de rodadura
Figure 3. Tread Layer condition

2.1.2 Juntas de dilatación

Uno de los problemas de este componente es su obstrucción con elementos extraños que afecta los movimientos horizontales y verticales que debe soportar la junta (Figura 4). Esto puede producir el deterioro del sello, posible paso del agua a través de la junta y efecto sobre la durabilidad de los apoyos, estribos y pilas del puente.

2.1.2 Expansion Joints

One of the problems suffered by this component is the blockage due to external elements, which affect horizontal and vertical movements beard by the joint (Figure 4). Above may cause a pier ring's wearing out, thus allowing water to go through the joint affecting the bridge's bearings, abutment pier and piles.



Figura 4. Junta sin sello y cubierto con tierra
Figure 4. Joint lacking of pier ring, covered with earth

Este deterioro se debe en algunas ocasiones a asentamientos en los terraplenes de acceso que producen un desnivel con el tablero de la superestructura del puente, generando un aumento en el impacto vehicular. Así mismo puede ser causado por deficiencias en su diseño estructural, lo que implica que el componente no tenga la capacidad de absorber las deformaciones entre la zona de acceso y el tablero del puente (Figura 5).

In some cases this damage is caused by the access embankment seatings provoking a level difference with the bridge superstructure deck, thus creating an increased vehicular impact. In the same way, damage can be caused due to structural design shortcomings, which means that the component does not have the capacity to resist deformations between the access area and the bridge's deck (Figure 5).

Esto sucede cuando el tipo de junta seleccionado no es el adecuado, lo cual depende del tipo de puente, su tipología y longitud ó cuando las juntas no están adecuadamente ancladas a los componentes del puente (funcionamiento no solidario), tales como los diafragmas del estribo, la losa, entre otros. Este problema se refleja en el deterioro y desprendimiento de sus partes por la inadecuada conformación combinada con un aumento de impacto (Figura 6).

El inadecuado diseño de la zona alrededor de las juntas, donde se generan problemas de encharcamiento de agua y posterior afectación de los componentes de este dispositivo generan problemas de infiltración que acelera la degradación y deterioro de los componentes del puente adyacentes a este dispositivo.

El deterioro también puede ser ocasionado por corrosión en ángulos y platinas que hacen parte de los tipos de juntas de acero, inadecuada conexión soldada entre los ángulos y las platinas, falla de los anclajes que unen los componentes del dispositivo de las juntas con las partes adyacentes del puente (losa, diafragma, etc), inadecuada construcción de los guardacantos por falta de adherencia y mala calidad del concreto, aumento de las cargas legales previstas ó caída de agentes químicos inadmisibles que afectan la masilla empleada para su instalación.

It happens when the selected pier ring is not adequate, which depends on the bridge type, its typology and length (non-joint functioning), such as abutment pier diaphragms and slab, among others. This problem is reflected by the wearing out and detachment of its components due to an inadequate configuration, as well as the increase of vehicular impacts (Figure 6).

The inadequate designs of the area next to the joints, (where water flooding problems take place later affecting this device's components) create infiltration conditions, which accelerate deterioration and damages bridge components adjacent to this device.

Damage can also be caused by corrosion of angles and fixing plates which are part of steel joints; inadequate welded connection between angles and fixing plates; failure of end plates fixing the joints components with the adjacent elements of the bridge (slab, diaphragm, etc.); inadequate construction of roadside posts due to concrete's lack of adherence or poor quality; increase of the expected allowable loads; or dropping inadmissible chemical components affecting the caulking compound employed for the installation.



Figura 5. Deterioro de junta cubierta de mezcla asfáltica
Figure 5. Damage of joint covered by asphaltic layer



Figura 6. Falla unión soldada en junta de acero. Soldaduras intermitentes
Figure 6. Welding failure of steel joint. Non continuous welding

Se encontró que los componentes calificados como “malos” disminuyeron de un 14% a un 2% (Figura 7). El tipo de daño más frecuente detectado en estas inspecciones es la infiltración. La reparación más sugerida es el cambio de junta a goma asfáltica y el aumento de las labores de mantenimiento.

It was found that components classified as “defective ones” decreased from 14% down to 2% (Figure 7). The most frequent damage during these inspections was infiltration. The suggested restoration action is the replacement by rubber asphalt and the increase of maintenance tasks.

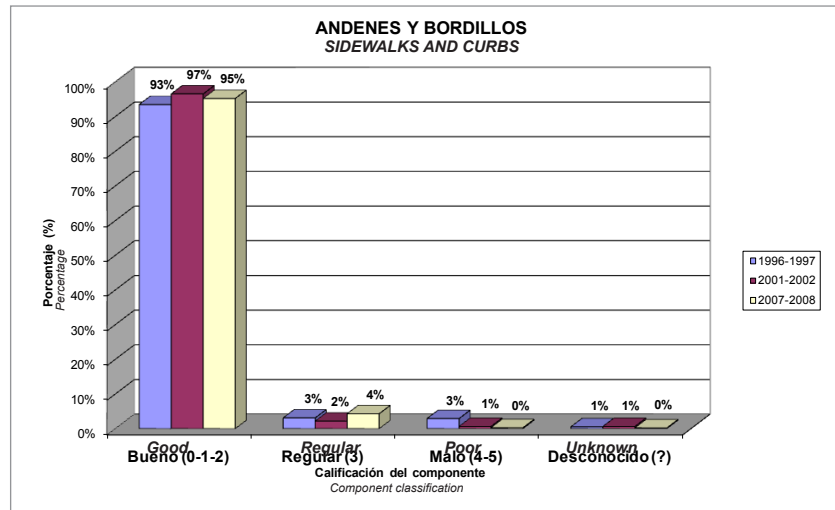


Figura 7. Estado de juntas de dilatación
Figure 7. Expansion joints conditions

2.1.3 Andenes, bordillos y barandas

Los daños típicos que se encuentran en estos componentes son los hormigueros en el concreto combinados con aceros expuestos, producto de deficiencias en su proceso constructivo y/o mal diseño, también por grietas estructurales (Figura 8) y grietas no estructurales producidas por contracción, retracción de fraguado, etc. Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida en algunos casos por carbonatación (baja de PH), sulfatos, materia orgánica y cloruros. Para las barandas, los daños típicos que se encuentran en estos componentes son causados principalmente por impactos ocasionados por accidentes de camiones y vehículos (Figura 9).

2.1.3 Sidewalks, curbs and safety fences

Typical damages suffered by these components are concrete honeycombing together with exposed steel bars, due to deficiencies of construction processes and/or poor design, as well as structural crackings (Figure 8) and non structural crackings due to contraction, concrete shrinking, etc. Concrete durability deficiencies, in some cases caused by carbonation (PH loss), sulfates, organic matter and chlorides. Typical damages taking place in safety fences` components are mainly caused by trucks and vehicles accidents (Figure 9).



Figura 8. Bordillo descompuesto
Figure 8. Damaged curb



Figura 9. Barandas inestables por impacto
Figure 9. Unstable safety fences due to collisions

Se detectó que el estado de este componente de andenes y bordillos mejoró, ya que son menores los calificados como “malos” y mayores los calificados como “buenos” (Figura 10). Los tipos de daños más frecuente detectados en estas inspecciones, son el impacto y otros (acumulación de basuras, arena, matas, etc). La reparación más sugerida es la reparación del concreto y el aumento de labores de mantenimiento.

It was found that the condition of sidewalks and curbs was improved, since the number classified as “defective ones” decreased and the number classified as “good ones” increased (Figure 10). The most frequent damages detected by such inspections are collisions and others (garbage, sand and bush accumulation, etc). The suggested restoration is concrete repair and the increase of maintenance tasks.

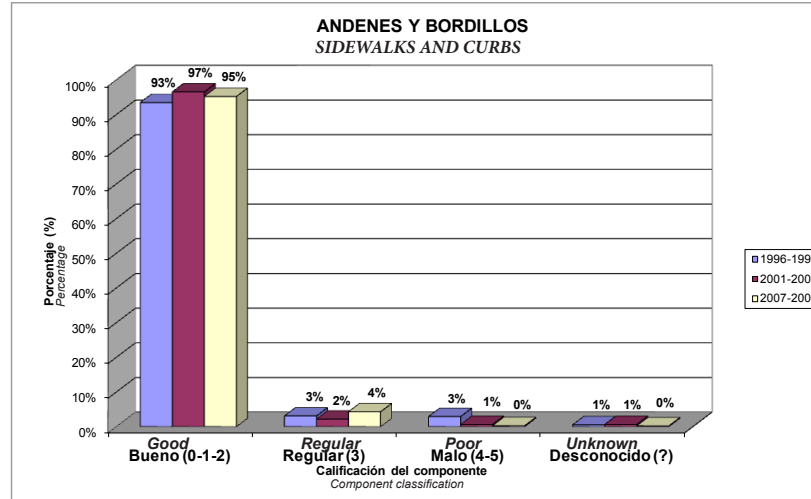


Figura 10. Estado de andenes y bordillos
Figure 10. Sidewalks and curbs conditions

Para Barandas mejoró, ya que son mayores los componentes calificados como “buenos”. Los tipos de daños más frecuente detectados en estas inspecciones, son el impacto y otros (acumulación de basuras, arena, matas, etc). La reparación más sugerida es el cambio de baranda y el aumento de labores de mantenimiento (Figura 11).

The safety fences condition improved as the number of components classified as “good ones” increased. The most frequent damages detected by these inspections are collisions and others (garbage, sand and bush accumulation, etc). The most suggested restoration is the replacement of the safety fence and the increase of maintenance tasks (Figure 11).

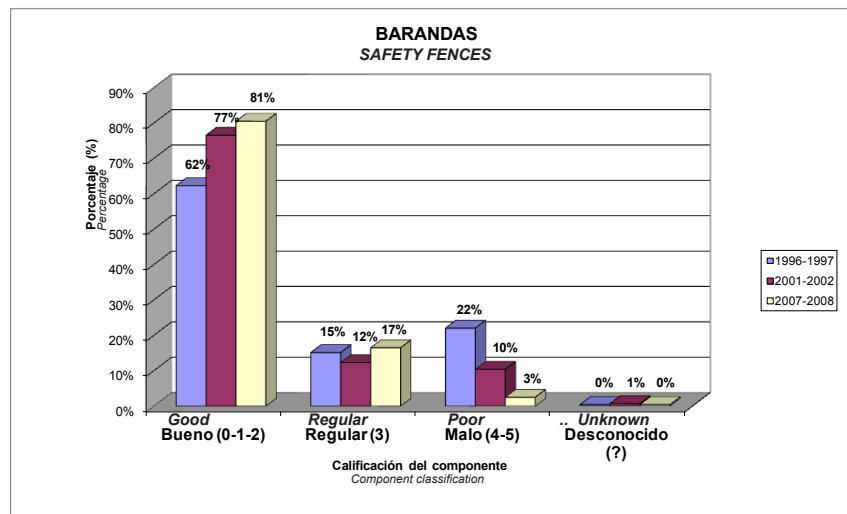


Figura 11. Estado de barandas
Figure 11. Safety fences conditions

2.1.4 Conos y taludes

Inestabilidad de los taludes adyacentes a las aletas y estribos de los puentes, producto de erosión o socavación. Esto se detecta por movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La superficie del terreno presenta escalonamientos y los troncos de árboles se inclinan en el sentido del movimiento. Rotación hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Deslizamiento translacional, consistente en el desplazamiento de la masa de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Las razones por las cuales se generan este tipo de daño son la erosión de los taludes adyacentes a los estribos, generada por la falta de dispositivos para el adecuado manejo de las aguas de escorrentía provenientes de la carretera en época de invierno, la inestabilidad de los conos y taludes, producto de una mala conformación de su relleno y la afectación de los taludes por el efecto de socavación lateral (Figura 12)

2.1.4 Cones and land slopes

Instability of land slopes adjacent to the bridge's wing-walls and abutment piers, due to erosion or undercutting. Above is detected by the slow landslide where a surface failure is not distinguished. The land surface shows some step faulting and the trees trunks lean towards the movement direction. Forward rotation of one or several rock or soil blocks around a point or pivot rotation in lower section. Translation land slide which is the displacement of soil or rock mass alongside a plain or crackled failure surface. The reasons for this kind of damage are erosion of land slopes adjacent to the pier abutments, mainly because of the lack of devices to handle run-off water coming from the highway during winter season and; the instability of cones and land slopes due to a poor filling configuration and land slopes affectation due to lateral undermining effect (Figure 12).



Figura 12. Deslizamiento del talud aledaño del puente que afecta los conos y taludes del puente.

Figure 12. Land slide of land slope adjacent to the bridge affecting bridges' cones and land slopes

El estado de este componente permaneció constante en los diferentes periodos de inspección y se encontró que la obra de reparación más recomendada en la construcción de cunetas (Figura 13), para evitar problemas de erosión en los taludes que lo conforman.

This component condition remained constant during inspection periods. The suggested repairing task is the construction of ditches (Figure 13), in order to avoid land slopes erosion.

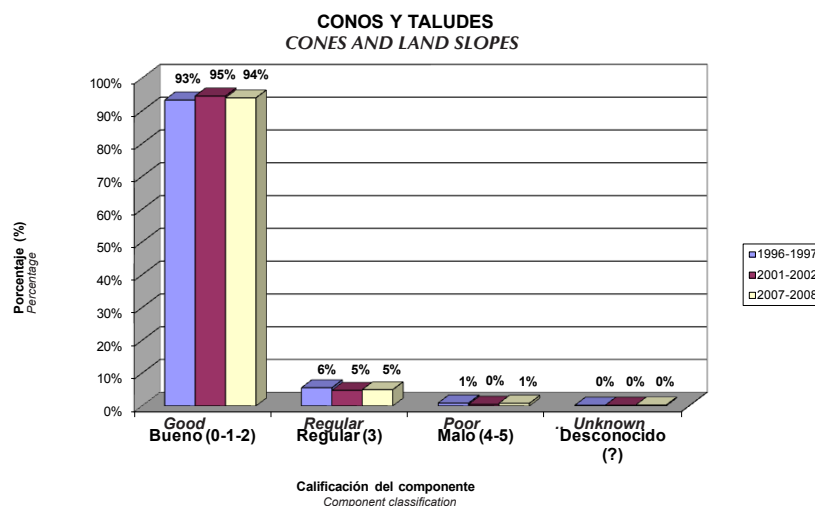


Figura 13. Estado de conos y taludes

Figure 13. Cones and land slopes conditions

2.1.5 Aletas

Inestabilidad estructural de las aletas de los puentes producidas por asentamiento y/o socavación, que pone en riesgo la estabilidad de los terraplenes de acceso. Este se identifica a través de grietas en las aletas y/o rotaciones identificadas visualmente. Dichos daños se identifican cuando se observan movimientos y desplomes por problemas de socavación lateral del cauce sobre las cimentaciones de las aletas (Figura 14 (a)), erosiones producidas por la inestabilidad de los taludes adyacentes que afectan estabilidad de las aletas (Figura 14 (a)) y por deformaciones o rotaciones de las aletas producto de los asentamientos de su cimentación, para lo cual estos componentes no están preparados estructuralmente (Figura 14 (b y c)).

2.1.5 Wing-walls

Structural instability of bridge wing-walls is caused by seating and/or undermining effect; thus risking the access embankment stability. This is evidenced by means of wing-wall crackings and/or rotations visually identified. Such damages are detected when movements and landslides take place due to lateral undermining of the river bed on the wing-walls foundations (Figure 14 (a)); erosion due to adjacent land slopes instability affecting wing-walls stability (Figure 14 (a)) and; due to deformations or wing-walls rotations due to foundation seatings provided that these components are not structurally prepared for such conditions (Figure 14 (b and c)).



Figura 14. (a) Falla de aleta por socavación. (b). Grietas por falta de capacidad de carga de las aletas, producidas por un probable asentamiento. (c) Asentamiento en terraplén de acceso que afecta la aleta

Figure 14. (a) Wing-wall failure due to undermining. (b) Crackings due to lack of wing-walls loading capacity, probably caused by seating. (c) Access embankment seating which affects the wing-wall

Otro tipo de daño en este componente es su deterioro, el cual afecta su capacidad de carga y por lo tanto la función de soportar las cargas horizontales que le transmite el relleno del terraplén de acceso. Las razones pueden ser deficiencias estructurales producto de un inadecuado diseño estructural (geometría inadecuada, cimentación y unión con estribo no apropiado, ver Figura 14 (b)), empleo inadecuado de este componente para soportar cargas de una ampliación del tablero del puente o de una pasarela peatonal (esto sucede cuando se quiere ampliar el tablero de los puentes y se decide en forma equivocada emplear las aletas para servir de apoyo de esta nueva estructura). La acumulación de maleza o basura, los procesos de construcción deficientes (hormigueros y acero expuesto), problemas de durabilidad (carbonatación o baja de PH, alto contenido de sulfatos y cloruros); afectan considerablemente a este componente. El estado de este componente en general es bueno. Los tipos de daños más frecuentes detectados de estos componentes en estas inspecciones, son el asentamiento, erosión y socavación. La reparación más sugerida es la reparación del concreto y el aumento de las labores de mantenimiento (Figura 15).

Another kind of damage of this component is deterioration, which affects its loading capacity and therefore, its ability to bear horizontal loads transmitted by the access embankment. Deterioration may be caused by structural deficiencies due to an inadequate structural design (inadequate geometry, foundation fixed by an inappropriate abutment pier (see Figure 14(b)); the inadequate use of this component to bear loads due to the enlargement of the bridge deck or walkway (it happens when the bridge deck is enlarged and the use of wing-walls is selected to bear this new structure). Brush or garbage accumulation, deficient construction processes (honeycombing and exposed steel bars), durability problems (carbonation and PH loss, high sulfate or chloride contents) considerably affect this component. Generally, the condition of this component is good. The kind of frequent damages detected by these inspections are seating, erosion and undermining. The suggested restoration task is to repair concrete and to increase maintenance tasks (Figure 15).

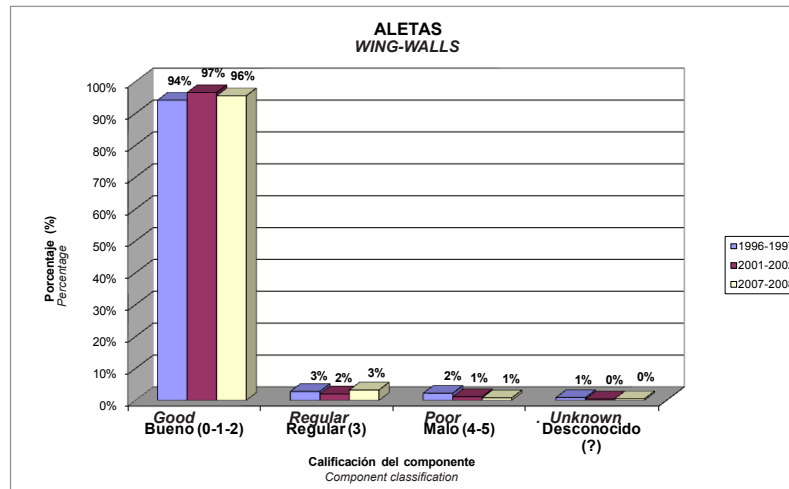


Figura 15. Estado de aletas

Figure 15. Wing-walls Conditions

2.1.6 Estribos

Inestabilidad estructural del estribo producido por asentamiento y/o socavación, que pone en riesgo la estabilidad de la superestructura, las aletas y el terraplén de acceso del puente. Cuando es un daño por asentamiento, este se manifiesta por la rotación de la estructura del estribo, separación entre el estribo y la aleta, grietas en los estribos, etc.. Cuando es un daño por socavación, este se manifiesta por la pérdida de soporte de la cimentación de los estribos, observándose por ejemplo: pilotes descubiertos, huecos en las zarpas de la cimentación superficial, etc.

Otro tipo de daño de este componente es el deterioro y la falta de capacidad de carga, lo cual se detecta por deficiencias estructurales, producto de un inadecuado diseño, donde el componente no está en capacidad de soportar los empujes de tierra horizontal provenientes del terraplén de acceso, ni las cargas verticales provenientes de la superestructura del puente (Figura 17); esto se evidencia por la presencia de grietas especialmente a flexión (grietas en la zona de los apoyos). Los procesos de construcción deficientes (hormigueros y aceros expuestos) así como problemas en la durabilidad del concreto (producida por carbonatación o baja de PH, contenido de sulfatos y cloruros) generando problemas de corrosión (Figura 18).

Así mismo, las fallas por aplastamiento del concreto del estribo en la zona de apoyos, por la falta de capacidad de soportar este tipo de cargas, el deterioro del concreto de los estribos por infiltración proveniente de las juntas de dilatación (sin sello y permeable) y la acumulación de maleza o basura, afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

2.1.6 Abutment Pier

The structural instability of abutment pier, due to seating and/or undermining, affects the superstructure stability as well as the wing-walls and access embankment of the bridge. When damage is caused by seating, it is evidenced by the abutment pier structure rotation, detachment between the abutment pier and the wing-wall, abutment pier crackings, etc. When damage is caused by undermining; it is evidenced by the bearing capacity loss of abutment pier foundations, thus observing: exposed piles, holes in the surface foundation pivots, etc.

Another type of damage is the deterioration or the lack of loading capacity of this component, which is evidenced by structural deficiencies due to an inadequate design, where the component is not able to bear the earth lateral thrust produced by the access embankment neither the vertical loads from the bridge superstructure (Figure 17). Above is evidenced by the presence of crackings, specially reflecting crackings (crackings in the bearing area). Deficient constructive processes (honeycombing and exposed steel bars), as well as concrete durability problems (due to carbonation or PH loss, sulfate and chloride contents) generate corrosion problems (Figure 18).

In the same way, failures caused by concrete crushing on the abutment pier in the bearing area, due to the lack of loading capacity; damage of pier abutment concrete due to infiltration from the expansion joints (non-sealed and permeable). Besides, garbage or brush accumulation affects this material component in the medium term.



Figura 16 . Grieta horizontal en la mitad de la altura del estribo

Figure 16. horizontal cracking at the mid height of the abutment pier



Figura 17. Problemas de capacidad de carga
Figure 17. Loading capacity problems

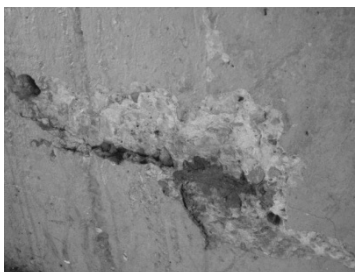


Figura 18. Pérdida de sección de refuerzo principal por problemas de corrosión
Figure 18. Loss of main reinforcement section due to corrosion effect

El estado de este componente es bueno. El tipo de daño más frecuente detectado en esta inspección, es la infiltración. La rehabilitación más sugerida es la reparación del concreto y el aumento de labores de mantenimiento (Figura 19).

The condition of this component is good. The most frequent damage type detected by this inspection is infiltration. The suggested restoration is to repair concrete and increase the maintenance tasks (Figure 19).

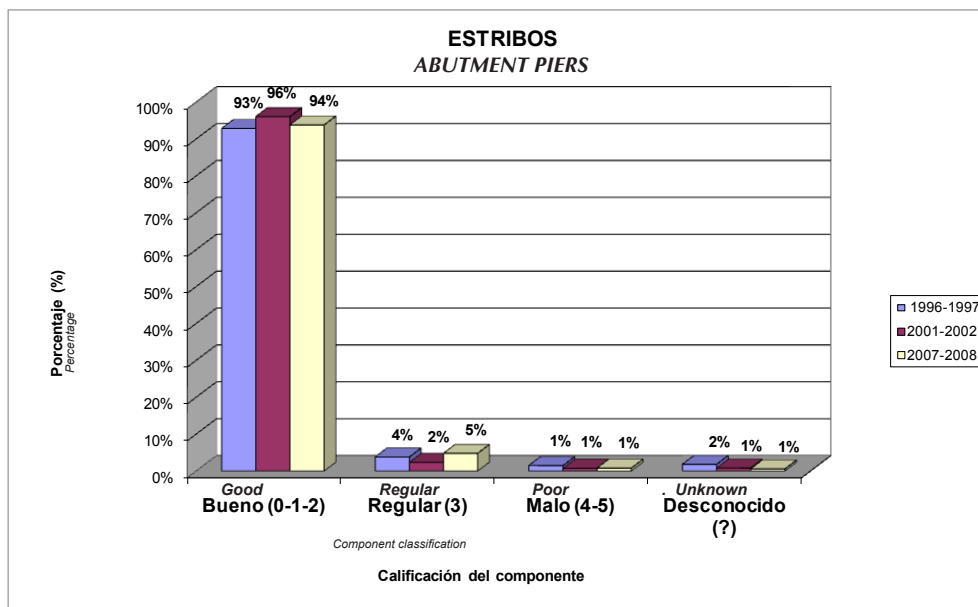


Figura 19. Estado de estribos
Figure 19. Abutment piers conditions

2.1.7 Pilas

Deformaciones o rotaciones de las pilas producto del asentamiento de su cimentación, para lo cual este componente no está preparado estructuralmente. Este tipo de asentamientos se evidencia por las deformaciones longitudinales en las barandas. Movimientos y desplomes generados por la socavación lateral del cauce sobre las cimentaciones de las pilas (Figura 20).

2.1.7 Piles

Deformations or piles rotations due to their foundation seating provided that this component is not structurally prepared for such conditions. Such kinds of seatings are evidenced by safety fences longitudinal deformations. Movements and landslides are caused by the river bed lateral undermining in the piles foundations (Figure 20).



Figura 20. Material de soporte de pila afectado por socavación
Figure 20. Bearing pile material affected by undermining

Otro tipo de daño de este componente es el deterioro y la falta de capacidad de carga, lo cual se detecta por deficiencias estructurales que no permiten que la pila este en la capacidad de soportar las cargas sísmicas ni las cargas verticales provenientes de la superestructura, generando grietas a flexión y a cortante. Procesos de construcción deficientes (hormigueros y aceros expuestos en la pila), así como problemas en la durabilidad del concreto (carbonatación o baja de PH, contenido de sulfatos y cloruros) que generan corrosión, principalmente en ambientes agresivos (Figura 21) zonas costeras especialmente. Deterioro del concreto de las pilas por infiltración proveniente de las juntas de dilatación (sin sello y permeable), lo cual afecta su durabilidad (Figura 22), así como la acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

Another damage type of this component is deterioration and the lack of loading capacity, which is detected by structural deficiencies not allowing the pile to resist seismic loads neither vertical loads from the superstructure, thus provoking reflecting crackings and shear crackings. Deficient constructive processes (honeycombing and pile's exposed steel bars), as well as concrete durability problems (carbonation or PH loss, sulfate and chloride contents) generate corrosion, mainly under aggressive environments (Figure 21), specially in coast areas. Piles concrete deterioration due to infiltration from expansion joints (non-sealed and permeable) affect durability (Figure 22). Besides, the garbage and brush accumulation also affect this component material durability in the medium term.



Figura 21. Corrosión en el acero de refuerzo de pilas
Figure 21. Corrosion of reinforcement steel in the piles



Figura 22. Alta concentración de humedad
Figure 22. High moisture content

El estado de este componente es bueno (Figura 23). El tipo de daño más frecuente es la infiltración. La rehabilitación más sugerida es la reparación del concreto y el aumento de labores de mantenimiento.

The condition of this component is good (Figure 23). The most frequent damage type is infiltration. The suggested restoration action is to repair concrete and increase maintenance tasks.

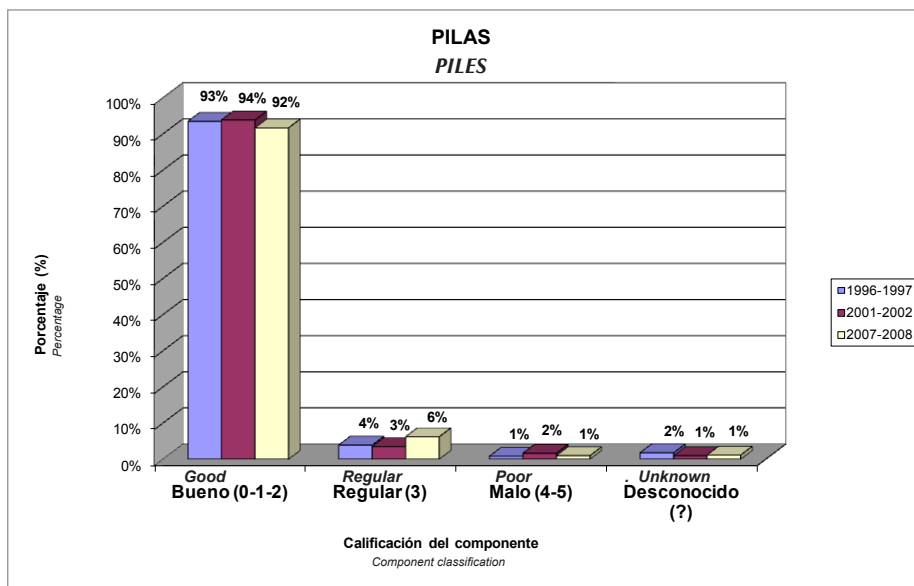


Figura 23. Estado de pilas
Figure 23. Piles conditions

2.1.8 Apoyos

Diseño inadecuado que se convierte en una vulnerabilidad sísmica de los apoyos en estribos y pilas, que no lo hacen competente estructuralmente en el momento de un sismo y que ponen en riesgo la estabilidad general del puente, por lo general se construyen sin cumplir con las especificaciones sísmo resistentes. Esta vulnerabilidad que genera los apoyos al puente, se identifica por una longitud insuficiente de su asiento, por su forma y dimensiones inadecuadas (apoyos de balancín de acero, balancín de concreto y rodillos), etc. Ausencia de elementos de restricción transversal o topes sísmicos, que garanticen estabilidad lateral de la superestructura del puente ante un evento sísmico.

Otro tipo de daño de este componente es el deterioro, el cual se manifiesta por varios aspectos como la deformación y distorsión de apoyos de neopreno, desconches de bajo de los apoyos por falla por aplastamiento del concreto en los estribos y las pilas, apoyos de acero tipo móvil (rodillos) sin lubricar, corrosión generalizada en los apoyos de acero (Figura 25), apoyos de balancín sin una correcta verticalidad, falta de anclajes o tornillos en apoyos de acero móviles, acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad del material de este componente, deterioro del apoyo, ya sea por mala calidad del recubrimiento o por grietas producidas por el doblado del refuerzo principal en el extremo, por la necesidad de un radio de curvatura importante para varillas de mayor diámetro.

2.1.8 Bearings

An inadequate design leads to seismic vulnerability on the bearing pier abutment and piles not structurally enabling them to endure an earthquake, thus risking the bridge overall stability. Generally, they are constructed overlooking the seismic resistance specifications. The vulnerability of bridge bearings is identified by an insufficient seating length, by its shape and inadequate dimensions (steel bearing outrigger, concrete and rollers outrigger), etc. There is a lack of transversal restriction devices or seismic stops ensuring the bridge lateral stability during a seismic event.

Another kind of damage of this component is deterioration, which is evidenced by several aspects such as deformation and neoprene bearing distortion; chipping under bearings due to concrete crushing in the abutment piers and piles; non lubricated mobile steel bearings (rollers); overall corrosion on steel bearings (Figure 24); bearing outrigger lacking of proper verticality; lack of anchoring or bearing bolts on mobile steel bearings; garbage or brush accumulation that affects this component material durability in the medium term; bearing deterioration either by coating layer poor quality or crackings due to bending of the end main reinforcement, which requires a significant curve radius for higher diameter rods.



Figura 24. Corrosión y deterioro del apoyo balancín de acero
Figure 24. Corrosion and deterioration of steel bearing outrigger

El estado de este componente es bueno. Los tipos de daños más frecuentes detectados en estas inspecciones de este componente son el daño estructural e infiltración. La reparación más sugerida es cambio de apoyo y reparación del concreto (Figura 25).

The condition of this component is good. The most frequent damages detected by these inspections are structural damage and infiltration. The suggested restoration action is the replacement of bearing and repairing concrete (Figure 25).

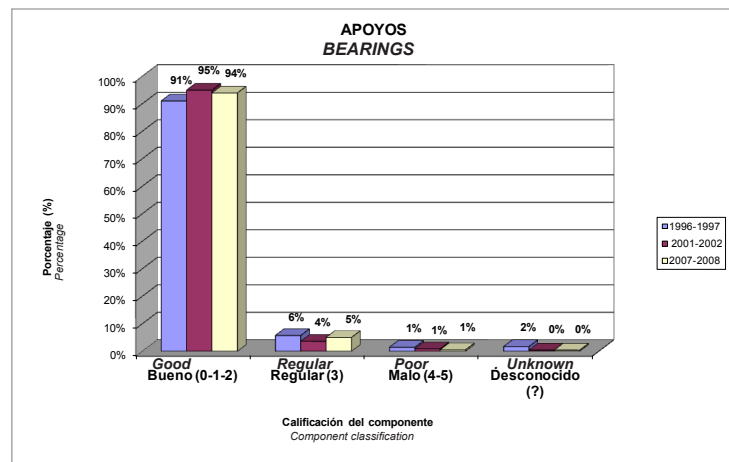


Figura 25. Estado de apoyos
Figure 25. Bearings conditions

2.1.9 Losa

Deficiencias estructurales, reflejadas mediante grietas de flexión (primarias o secundarias). También deterioro del concreto, encontrándose aceros expuestos, hormigueros, deficiencias en la construcción, problemas de durabilidad, etc. En este diagnóstico incluye las losas de acceso en concreto reforzado. Las causas principales de los daños en las losas ocurren por insuficiente capacidad de carga debido a su inadecuado diseño. Esto se refleja cuando tienen un espesor menor al especificado por el Código de Diseño Sísmico (<18 cm); por la mala calidad del concreto, lo cual se detecta por su débil consistencia, indicios de fractura y/o hormigueros (Figura 28); por tener un refuerzo liso, con un diámetro menor a 3/8" y una separación entre barras mayor de 30 cm que no proporciona una adecuada adherencia entre concreto y el acero; cuando se detecta la presencia de fisuras con anchos apreciables, que son un indicio de su falta de capacidad estructural y de que están sometidos a esfuerzos mayores a los que están en capacidad de soportar (grietas estructurales). Cuando las grietas son de espesores menores, pueden estar relacionados con el tema de deficiencias en su durabilidad (grietas no estructurales). Para poder tener una referencia o un orden de magnitud sobre su relación con el tema durabilidad, se sugiere tener en cuenta las recomendaciones del documento ACI 224 R-01 ("Control of Cracking in concrete Structures").

2.1.9 Slab

Structural deficiencies are shown by means of reflection crackings (primary or secondary). There is a concrete deterioration, where exposed steel bars, honeycombing, construction deficiencies and durability problems are found. This diagnosis includes reinforced concrete access slabs. The main causes of slab damages are due to the poor loading capacity derived from an inadequate design. It happens when slab has a thickness lower than the one specified by Seismic Design Code (<18 cm); which is detected by its weaker consistency, signs of crackings and/or honeycombing (Figure 28). Slabs also have a plain reinforcement, with a diameter lower than 3/8" and, bar plates distance is higher than 30 cm between them, which does not allow an adequate bonding between concrete and steel. Also when there are significantly wide crackings, which are a sign of lack of structural capacity thus showing the slabs inability to resist higher stress than the one they were designed for (structural crackings). When crackings are thinner, they may be related to a durability deficiency (non-structural crackings). In order to achieve a reference in regards to durability, it is suggested to take in to account the recommendations by ACI 224 R-01 ("Control of Cracking in concrete Structures").

Tabla 1. Guía para ancho admisible de fisuras en estructuras de concreto reforzado bajo cargas de servicio

Table 1. Guide for admissible fissures widths in reinforced concrete structures under service load

Condiciones de exposición/ <i>Exposure conditions</i>	Anchos de fisuras admisibles/ <i>Admissible fissures widths</i>
Aire seco o membrana protectora/ <i>Dry air or protective membrane</i>	0.4
Ambiente húmedo (aire húmedo, suelo, etc.)/ <i>Humid environment (humid air, soil, etc)</i>	0.3
Productos químicos descongelantes/ <i>De-frost chemical products</i>	0.2
Humedecimiento y secado de agua de mar/ <i>Sea water drying and moisture processes</i>	0.15
Estructuras para retención de agua, excluyendo tuberías sin presión/ <i>Structures used for water runoff, excluding non-pressure piping.</i>	0.10
Elementos de concreto preesforzado/ <i>Pre-stressed concrete elements</i>	0.10

Para el diagnóstico relacionado con la presencia de grietas de este componente, se recomienda:

- Si los anchos de las fisuras son menores de 0.3 mm se puede suponer que los esfuerzos no son muy altos y no se deberá tomar acción alguna. En tales casos la calificación de condición estará entre 1 y 2. Sin embargo se recomienda hacer seguimiento de la fisura para ser verificado en la siguiente inspección.
- Si el ancho de las fisuras está entre 0.3 y 0.6 mm, el esfuerzo puede ser alto pero se supone que no es peligroso. La calificación normalmente será 3. Cuando hay un ancho de fisura mayor a 0.6 mm indica que los esfuerzos son altos y que allí puede haber un problema con respecto a la capacidad de carga. En estos casos la calificación será 3 o más.

Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros y aceros expuestos en la losa (Figura 26). También por segregación y juntas frías inadecuadas. Grietas en el concreto de las losas causadas por la corrosión del acero, lo cual hace que este se expanda o hinche internamente, hasta generar fisuras longitudinales paralelas al refuerzo. Fractura del concreto en la parte de la losa en voladizo acompañado con fisuras de flexión primaria y secundaria (Figura 28). Fisuras en forma de malla relativamente finas en la parte inferior de la losa pueden indicar insuficiencia en la capacidad de carga. Frecuentemente las fisuras también aparecen en la calzada; un patrón de fisura sistemático en la superficie de asfalto indica con frecuencia problemas en la losa. Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida en algunos puentes por carbonatación o baja de PH. Esto genera que el recubrimiento del concreto de este componente no proteja adecuadamente el acero de refuerzo y este tenga problemas de corrosión. También su deterioro se puede deber a un alto contenido de sulfatos y cloruros en puentes construidos en zonas con ambientes agresivos. Esto se detecta a través de grietas no estructurales o eflorescencias (Son depósitos de sales cristalizadas que se posan en la superficie en forma de manchas, generalmente blanquecinas). Puede hacerse también al generar un impacto al concreto con un martillo y analizar su consistencia y estado.

For diagnosis regarding cracking of this component, the following is recommended:

- If crackings widths are lower than 0.3 mm, it may be assumed that reinforcements are not high enough, so a further action shall not be taken. In such cases, this condition ranking shall be between 1 and 2. However, following up the cracking width is recommended in order to compare it in further inspections.
- If crackings widths are between 0.3 and 0.6 mm, the reinforcement may be high, but it is assumed it is not dangerous. Normally the classification ranking will be 3. When there is a fissure width higher than 0.6 mm, it indicates that reinforcements are high and there might be a problem regarding loading capacity. In these cases, classification will be 3 or more.

Deficient construction processes are evidenced by the presence of honeycombing and slabs` exposed steel bars (Figure 26) and; due to the presence of segregation and inadequate cold joints. There are slab crackings caused by steel corrosion, which makes steel to expand and swell up internally until creating longitudinal fissures, which are parallel to the reinforcement. Concrete fracture takes place in the upper cantilever beam together with primary and secondary reflective crackings (Figure 28). In the beam lower area; there also are relatively thin fissures, in netting shape, probably indicating loading capacity insufficiency. Fissures frequently take place in the roadway; a systematic fissure pattern on the asphalt layer often indicates there are problems with the slab. Concrete durability deficiencies caused by carbonation or PH loss on bridges. It means that concrete coating layer of this component is not properly protecting reinforced steel, leading to corrosion of steel. Deterioration may be the result of high sulfate and chloride contents in bridges built under aggressive environmental conditions. This is detected by the presence of non-structural crackings or concrete efflorescence (crystallized salt deposits located on a surface generally looking like whitish spots). Concrete may be beaten with a hammer so as to evaluate concrete consistency and condition.





Figura 26. Acero expuesto y recubrimiento insuficiente

Figure 26. Exposed steel bars, insufficient coating layer



Figura 27. Infiltración de la losa por deficiencias al tener drenes cortos

Figure 27. slab infiltration due to deficiencies because of short drains



Figura 28. Falta de capacidad de carga de la losa

Figure 28. Failure of slab loading capacity

Grietas no estructurales de retracción y fraguado, cuyos espesores y forma de propagarse permite identificarlas. Deterioro del concreto de las losas en voladizo de los tableros de los puentes (Figura 27), producido por la disposición inadecuada de los drenes en el tablero. Esto genera infiltración o estancamiento del agua sobre la superficie de rodadura, que afecta la durabilidad de la losa. Esto se debe a las siguientes fallas del drenaje longitudinal:

- Insuficiente cantidad de drenes
- Drenes con una sección y longitud inadecuada

Este componente tiene un estado bueno. Los tipos de daños más frecuentes detectados en estas inspecciones de este componente son: infiltración y la descomposición del concreto, acero expuesto. Las obras más sugerida es reparación de drenes y del concreto (Figura 29).

Non-structural crackings due to shrinkage and setting, which thickness and way of spreading make identification easier. Concrete cantilever beams deterioration on bridges decks (Figure 27) is produced by the inadequate allocation of drains on the deck. It generates filtration or water blockades on the surface layer affecting the slab durability. It may be caused due to the following failures in the longitudinal drainage system:

- *Insufficient amount of drains*
- *Drains having an inadequate section and length*

This component is in good condition. The most frequent damages detected by these inspections are: concrete infiltration and concrete wearing out, exposed steel bars. The suggested restoration action is to repair drains and concrete (Figure 29).

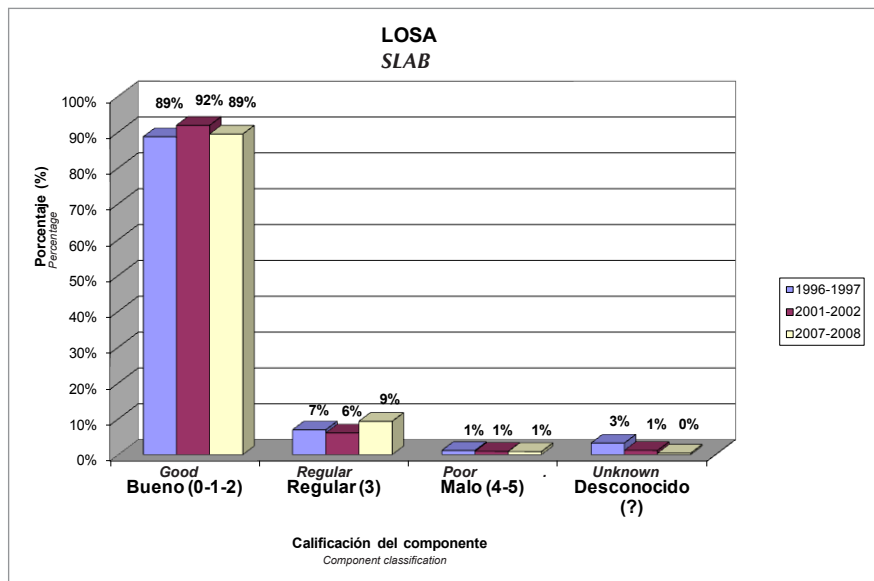


Figura 29. Estado de losa
 Figure 29. Slab condition

2.1.10 Vigas

Deficiencias estructurales y deterioro de las vigas de los puentes, que se traducen en algunos casos en falta de capacidad de carga. Se refleja en grietas de cortante, tensión, flexión y torsión, causadas por la insuficiente capacidad de carga de las vigas (Figura 30). Grieta a cortante en viga principal de concreto reforzado (Figura 30). Riostras o vigas transversales con fisuras de flexión y cortante. La presencia de fisuras con anchos apreciables en componentes principales de los puentes en concreto reforzado, son un indicio de su falta de capacidad de carga y de que están sometidos a esfuerzos mayores a los que están en capacidad de soportar (grietas estructurales). Cuando las grietas son de espesores menores, pueden estar relacionados con el tema de deficiencias en su durabilidad (grietas no estructurales). Para poder tener una referencia o un orden de magnitud sobre su relación con el tema durabilidad, se sugiere tener en cuenta las recomendaciones del documento ACI 224 R-01 ("Control of Cracking in concrete Structures") (Tabla 1).

Falta de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, debido al mal detallado estructural (falta de ganchos, traslapes mal ubicados, aceros de refuerzo lisos, etc). Esto se identifica por fisuras longitudinales paralelas al refuerzo de las vigas. Sobrecarga producida por los camiones sobre los puentes, por la falta de control mediante estaciones de pesaje. Este control debe ser recomendando también para vías secundarias y terciarias; también producida, por espesores de pavimento adicionales, sin tener en cuenta que estas estructuras no están preparadas para soportar estos aumentos de cargas muertas.

Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros, segregación y aceros expuestos en la viga (Figura 31). Acero principal expuesto y hormigueros en el concreto (Figura 31). También por inadecuada colocación del refuerzo, descimbrado inadecuado, ausencia o mala protección y curado del concreto, falta de control de calidad en los materiales, recubrimiento inadecuado y construcción inadecuada de juntas frías. Deterioro del concreto de las vigas, producida por

2.1.10 Beams

Structural deficiencies and deterioration of bridge beams, in some cases mean lack of loading capacity. It is reflected by shear, tension, flexure and torsion crackings caused by the insufficient beams loading capacity (Figure 30). Cross braces or transversal beams which have flexure and shear fissures. The presence of significantly wide fissures on main components of reinforced concrete bridges, show a loading capacity failure and prove they are enduring higher loads than the ones they are designed for (structural crackings). When crackings are thinner, they might be related to durability deficiencies (non-structural crackings). In order to achieve a reference point regarding durability, it is suggested to take into account the recommendations by ACI 224 R-01 ("Control of Cracking in concrete Structures") (Table 1).

Bonding failure between concrete and reinforced steel is caused by a poor structural specification (lack of hooks, wrongly allocated splices, flat reinforced steels, etc). It is identified by means of longitudinal fissures parallel to the reinforced beams. Overloading is produced by trucks transit on the bridges, which should be controlled by weigh stations. This kind of control should be also suggested for secondary and tertiary roads, which additional pavement thicknesses provokes overloading not considering that such structures are not prepared to bear an increase of dead loads.

Deficient construction processes are evidenced by the presence of honeycombing, segregation and beam exposed steel bars (Figure 31). Inadequate steel installation, inadequate stripping, lack of/improper concrete protection or curing process, lack of control on materials quality, inadequate coating layer and poor construction of cold joints. Concrete beams deterioration is caused by the inappropriate drains installation leading to infiltration, thus affecting components durability.

la inadecuada instalación de los drenes, que hacen que exista infiltración que afecta la durabilidad de estos componentes. Impacto de vigas cuyo tráfico circula por debajo del puente, producto de un galibo insuficiente. Este impacto afecta el concreto y acero principal de las vigas. Acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

There are impacts on beams, which traffic runs underneath the bridge due to an insufficient clearance. Such impact affects concrete and main beam steel. The garbage and brushes accumulation affects this material component durability in the medium term.

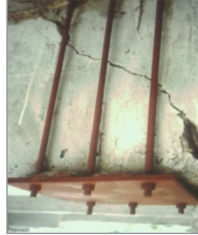


Figura 30. Grieta a cortante en viga principal de concreto reforzado
Figure 30. Shear cracking on the main concrete reinforced beam



Figura 31. Acero principal expuesto y hormigueros en el concreto
Figure 31. Main exposed steel and concrete honeycombing

Otro tipo de daño, es la corrosión del refuerzo de vigas en concreto reforzado o preesforzado, lo cual genera una pérdida de sección y afecta su capacidad de carga. Esto se manifiesta ya sea como la corrosión del acero de refuerzo o como deficiencias en la durabilidad.

La corrosión produce grietas (generalmente paralelas al refuerzo) en el concreto de estas vigas, producto de la pérdida de sección e hinchamiento de dicho refuerzo, disminuyendo la capacidad de carga de estos componentes (Figura 32); la durabilidad afectada por carbonatación, ataque de sulfatos y cloruros (principalmente en ambientes agresivos, Figura 33). Esto se detecta a través de grietas no estructurales o eflorescencias (Son depósitos de sales cristalizadas que se posan en la superficie en forma de manchas, generalmente blanquecinas). Puede hacerse también al pegar con un martillo el concreto y analizar su consistencia y estado. También corrosión de acero estructural de vigas metálicas que hacen parte de tableros de puentes de sección mixtos (concreto y acero), armaduras, arcos, colgantes, atirantados y puentes provisionales (Figura 33).

Other kind of damage is corrosion of pre-stressed or reinforced concrete beams, which generates a section loss affecting the loading capacity. This is evidenced either as reinforced beam corrosion or as durability deficiencies.

Corrosion produces crackings (generally parallel to the reinforcement) on concrete beams due to the section loss and swelling up of such reinforcement, thus decreasing loading capacity of such components (Figure 32). Durability is affected by carbonation, sulfate and chloride attacks (mainly in aggressive environment conditions, Figure 33). It is detected by means of non-structural crackings and efflorescence (crystallized salt deposits located on a surface generally looking like whitish spots). Concrete may be beaten with a hammer so as to evaluate concrete consistency and condition. Corrosion of structural steel beams are elements of mixed sections in bridges decks (concrete and steel), re-bars, arcs, suspension bridges, cable-stayed bridges and transitory bridges (Figure 33).



Figura 32. Corrosión por baja de pH y cloruros.
Figure 32. Corrosion due to loss of PH and chloride content



Figura 33. Corrosión e impacto, generó disminución de sección de viga
Figure 33. Corrosion and impact provoked a beam section reduction

El estado de este componente es bueno. Los tipos de daños más frecuentes detectados en estas inspecciones de este componte son: el daño en el concreto - acero expuesto y falta de capacidad de carga. Las obras más sugeridas son la reparación del concreto y la inyección de grietas.

The condition of this component is good. The most frequent damages types detected by these inspections are: concrete damage – exposed steel – and the lack of loading capacity. The suggested tasks are repairing concrete and refilling the crackings.

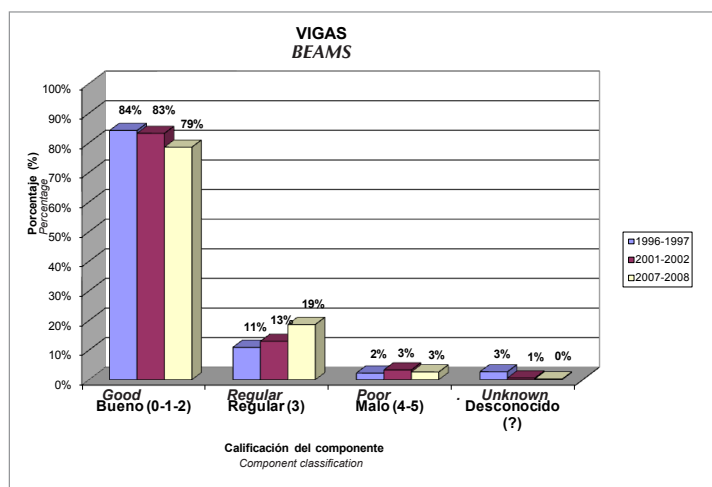


Figura 34. Estado de vigas, largueros y diafragmas
Figure 34. Beams, stringers and diaphragms conditions

2.1.11 Elementos de arco

Deficiencias estructurales y deterioro de los arcos de concreto, mampostería o acero en los puentes. Estas deficiencias se manifiestan por fisuras, indicios de corrosión (cambios de color), aceros expuestos, hormigueros, etc. Estos daños se deben a su falta de capacidad estructural se presentan fisuras transversales y longitudinales en arcos de concreto simple, que representan deficiencias en su capacidad de carga (Figura 35).

2.1.11 Arc Elements

Structural deficiencies and deterioration of concrete, masonry or steel arcs were found in bridges. Such deficiencies are shown by fissures, signs of corrosion (color changes), exposed steel bars, honeycombing, etc. Such damages are caused by the lack of structural capacity showing transversal and longitudinal fissures in regular concrete arcs, which lead to loading capacity deficiencies (Figure 35).

Además ausencia o pérdida de recubrimiento. Hormigueros y acero expuesto. Por su insuficiente capacidad de carga, se presentan grietas en los arcos de mampostería. Además hundimiento, desplazamiento de dovelas, grietas en el mortero de unión y desprendimiento de las unidades de mampostería. Infiltraciones en exceso que generan desintegración del material y afecta apreciablemente su durabilidad (Figura 35). Deficiencias en el detallado estructural de puentes en acero, especialmente en las uniones soldadas entre arco-pondolón y pondolón – viga de rigidez. Elementos deformados y figurados con indicios de corrosión. Deficiencias en la soldadura y pintura deteriorada. Impacto de vehículos.

Corrosión del acero de refuerzo que produce grietas (generalmente paralelas al refuerzo) en el concreto de los arcos, producto de la pérdida de sección e hinchamiento de dicho refuerzo. Esta pérdida de sección del refuerzo representa una disminución de la capacidad de carga de estos componentes, cuya responsabilidad en el puente es generalmente relevante. Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida por carbonatación o baja de PH. Esto genera que el recubrimiento del concreto de este componente no proteja adecuadamente el acero de refuerzo y este tenga problemas de corrosión. También su deterioro se puede deber a un alto contenido de sulfatos y cloruros en puentes localizados en zonas con ambientes agresivos. Esto se detecta a través de grietas no estructurales o eflorescencias (Son depósitos de sales cristalizadas que se posan en la superficie en forma de manchas, generalmente blanquecinas). Puede hacerse también al pegar con un martillo el concreto y analizar su consistencia y estado. Falta de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, debido al mal detallado estructural (falta de ganchos y traslapos mal ubicados). Sobrecarga producidas por los camiones sobre los puentes y en algunos casos por los ingenieros encargados de la rehabilitación de los pavimentos, quienes construyen espesores adicionales de pavimentos, sin tener en cuenta que estas estructuras no están preparadas para soportar estos aumentos de cargas muertas.

Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros y aceros expuestos en el arco, además acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

Besides, there is lack of/loss of coating layer; honey combing and exposed steel bars. Due to a limited loading capacity, crackings took place on masonry arcs. Besides, settlements, segment displacements, crackings in bonding mortar and detachment of masonry units are found. There is excess of infiltrations that lead to material breaking up considerably affecting material durability (Figure 35). There are deficiencies of structural specifications for steel bridges, especially for welded joints between arc - king post and king post – stiffness beam. Distorted and disfigured elements show corrosion signs. Welding and painting deficiencies are present. Impacts by vehicles.

Corrosion of reinforced steel produces crackings on concrete arcs (generally parallel to the reinforcement), due to reinforcement section loss and swelling up. Such reinforcement section loss leads to a decreased loading capacity of such components, which function is particularly relevant. Concrete durability deficiencies are produced by a PH loss. It means that the concrete coating layer is not properly protecting the reinforcement steel, so it gets corroded. Its deterioration may be caused by a high sulfate and chloride content in bridges built under aggressive environmental conditions. It is detected by means of non-structural crackings and efflorescence (crystallized salt deposits located on a surface generally looking like whitish spots). Concrete may be beaten with a hammer so as to evaluate concrete consistency and condition. Bonding failure between concrete and reinforced steel is caused by a poor structural specification (lack of hooks, wrongly allocated splices). Overloading is produced by trucks running on bridges and, in some cases, by engineers involved in pavement restoration tasks, who incorporate additional pavement thickness on the bridge, not considering that these structures are not prepared to bear increases of dead loads.

Deficient Construction processes are evidenced by the presence of honeycombing and exposed arc steel bars, besides the garbage and brush accumulation affects the durability of this material component in the medium term.



Figura 35. Fisuras y eflorescencias
Figure 35. Fissures and efflorescence

Los tipos de daños más frecuentes detectados en estas inspecciones de este componente son la corrosión del acero estructural, falta de capacidad de carga e infiltración. Su estado es bueno y las obras más sugeridas son la reparación del concreto y la pintura de acero (Figura 36).

The most frequent damages detected, by the inspections on this component, are structural steel corrosion, lack of loading capacity and infiltration. Its condition is good and suggested restoration tasks are repairing concrete and painting the steel (Figure 36).

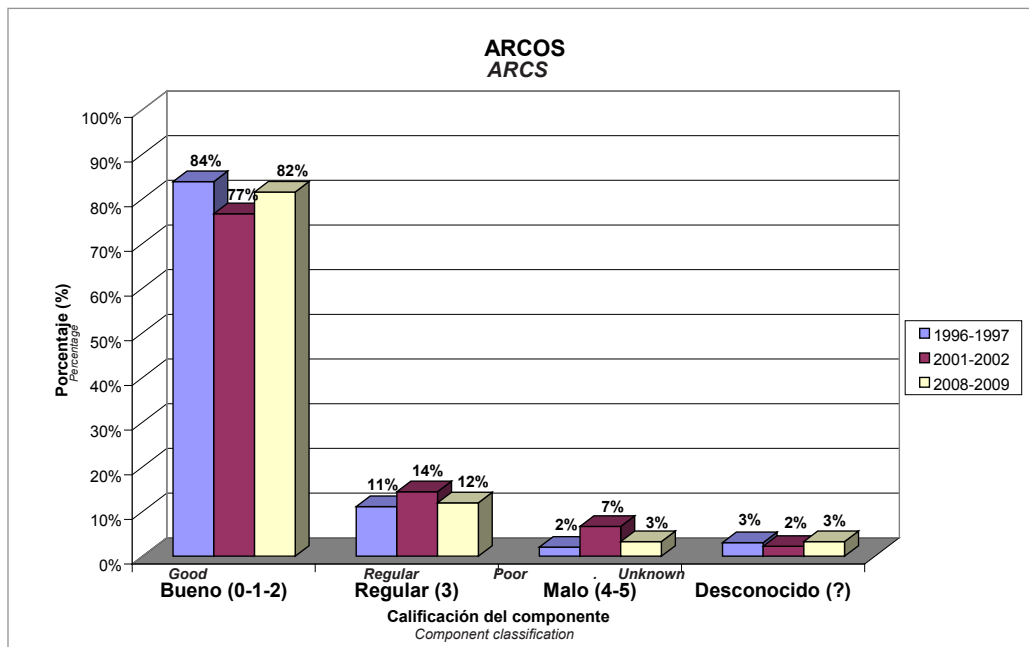


Figura 36. Estado de elementos de arco

Figure 36. Arc Elements conditions

2.1.12 Elementos de armadura y cables

Problemas de durabilidad de los elementos de armaduras y sus conexiones, generadas por fenómenos de corrosión, que pueden afectar su capacidad de carga. Esto se refleja así:

Corrosión generalizada en elementos principales (Figura 37) de los puentes de armaduras, especialmente en los cordones inferiores de puentes tipo armadura, que ponen en riesgo la estabilidad de la estructura. Esta corrosión se presenta por el medio ambiente en la zona y en muchos casos por que el acero no tiene la pintura de protección básica. Conexiones soldadas con defectos de construcción (Socavados, discontinuidad, fundido inadecuado, etc). Grietas en elementos a tensión.

Falta de remaches y pernos, que ponen en riesgo la estabilidad del puente y elementos de armaduras golpeados y oxidados, especialmente el cordón superior, el cual tiene responsabilidad estructural en la estabilidad del puente. Deficiencia en el detallado estructural de las uniones, evidenciando posibles problemas de vibración excesiva (Figura 38).

Problemas de pandeo local y general, en elementos de acero no compactos de las armaduras. Esto se detecta cuando se encuentran almas o aletas esbeltas con alabeo y deformaciones locales. También cuando estos componentes no tienen arriostramientos. Afectación de la seguridad estructural de los componentes y conexiones de las armaduras por el fenómeno de la fatiga. Este fenómeno puede afectar a los elementos, las conexiones soldadas y las conexiones pernaadas de los puentes de armadura. Estos problemas de fatiga se identifican con los siguientes indicios:

- Fisuras externas o internas en las partes de la soldadura. Cambio de color de soldaduras acompañada con presencia de corrosión leve.
- External or internal fissures on welded units. Changes of welding color together with signs of minor corrosion.

2.1.12 Wire and reinforcement elements

Durability problems of reinforcement elements and their connections are caused by corrosion effect that may compromise loading capacity. It is reflected as follows:

The overall corrosion of main elements of reinforced bridges (Figure 37) usually compromises the stability of the structure, specially the beads. Such corrosion is caused by the area environmental condition and, in many cases, because steel does not have a basic coating layer. Besides, there are welded joints wrongly constructed (undercuts between beads, discontinuity, inadequate casting) and crackings on tension elements.

The lack of blind rivets and bolts compromise the bridge stability. Beaten and corroded reinforcement elements, specially the upper bead, also risk the structural stability of the bridge. There is a deficiency of joints structural specification probably leading to excessive vibration (Figure 38).

Local and general buckling problems are endured by steel non-compacted reinforcement elements. It is detected when webs or wings are found showing local deformations. It is also caused when such components are lacking of bracings. There is a safety structural affectation on the reinforcement components and connections due to fatigue phenomenon. Such phenomenon may affect elements, welded joints and bolt mounted connections on reinforced bridges. Such fatigue problems are identified by the following signs:

- Desprendimiento parcial o total de la soldadura en varias zonas de los elementos cerca de las conexiones. Remaches, tornillos o pernos sueltos o descompuestos.

- *Partial or total welding detachment in several elements areas near the joints. Loose or damaged rivets, screws, bolts.*

Acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente, por su falta de limpieza y mantenimiento.

The accumulation of garbage and brush affects this component material durability in the medium term, due to the lack of cleaning and maintenance tasks.



Figura 37. Problemas de corrosión, pérdida de sección de cordón inferior
Figure 37. Corrosion problems, loss of section in the lower bead



Figura 38. Falta de pernos, problemas de vibraciones
Figure 38. lack of bolts, vibration problems

El estado de este componente mejoró. Los tipos de daños más frecuentes detectados en estas inspecciones de este componente son el daño estructural y la corrosión. Las obras más sugeridas son la reparación de los componentes de acero, así como su pintura.

The condition of this component improved. The most frequent kinds of damages are structural damage and corrosion. The suggested restoration tasks are repairing the steel as well as painting steel.

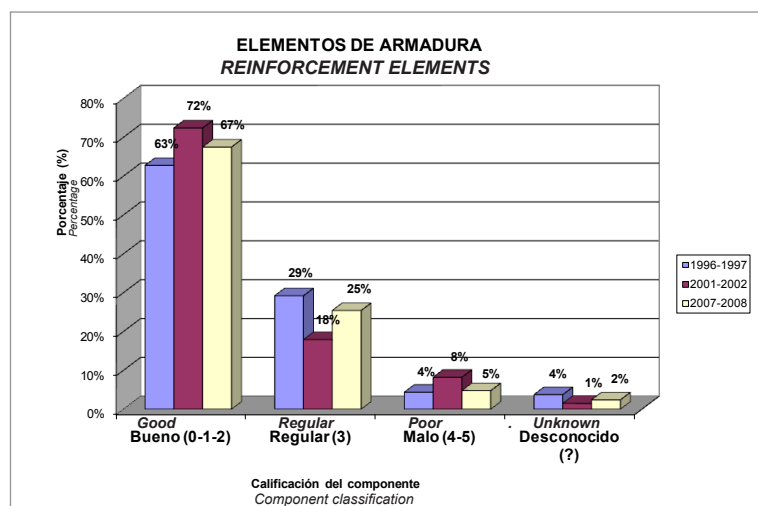


Figura 39. Estado de armadura
Figure 39. Reinforcement condition

Deficiencias estructurales y deterioro de los cables y pendolones de los puentes. Esto se refleja como corrosión en cables o pendolones, que disminuyen su sección transversal y afectan su seguridad estructural, falta de remaches en la unión de las vigas con el pendolón y corrosión generalizada en elementos de acero, platinas afectadas por el pandeo y el inadecuado detallado estructural, aumento del fenómeno de fatiga por soldaduras intermitentes en uniones principales y elementos soldados, rotura de hilos en los cables principales (catenaria y pendolones) (Figura 40) y también por falta de limpieza y mantenimiento.

Structural deficiencies are shown by damaged wires and king posts on the bridges. This is reflected by corroded wires and king posts, which decrease the transversal section affecting structural safety. Deficiencies are also caused by lack of rivets in the beams area connecting with the king post; overall corrosion of steel elements; plates affected by buckling; inadequate structural specifications, increased fatigue phenomenon due to intermittent welding of main joints and welded elements; main wire threads breaking up (catenary and king posts) (Figure 40); lack of cleaning and maintenance tasks.



Figura 40. Catenaria principal con falla en alambres
Figure 40. Main catenary showing wires failure

El estado malo de este componente aumentó. Los tipos de daños más frecuentes detectados son: El daño estructural y la corrosión. Las obras más sugeridas son la pintura de acero y otras (especiales) (Figura 41).

Poor condition of this element increased. The most frequent detected damages are: structural damage and corrosion. The suggested restoration tasks are painting the steel and others (additional) (Figure 41).

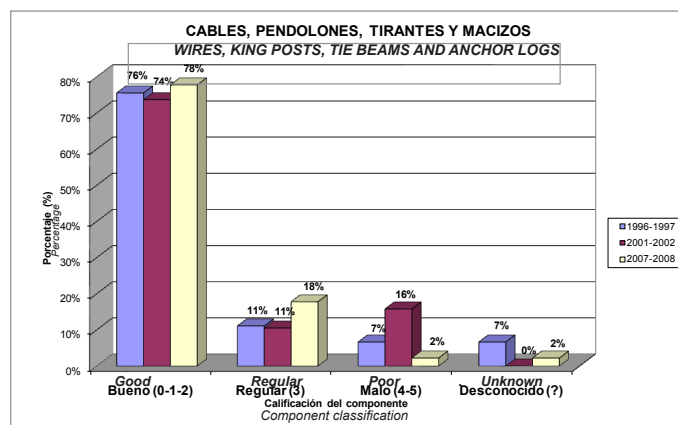


Figura 41. Estado de cables, pendolones y torres
Figure 41. Condition of wires, king posts and towers

2.1.13 Cauce

Uno de los problemas principales de los puentes de Colombia es la socavación o colmatación de cimentación de estribos, aletas y pilas. Las principales causas son: Colmatación y sedimentación del cauce, que disminuye el galibo y aumenta el riesgo de submergencia.. Insuficiente área hidráulica y galibo (Figura 43), lo cual genera socavación local, general y por contracción en las cimentaciones de los componentes de la subestructura del puente. Por esta razón el cauce puede afectar los terraplene de acceso del puente y en algunos casos que colapsen.

2.1.13 River bed

One of the main problems of Colombian bridges is undermining or foundation backfilling of abutment piers, wing walls and piles. Main causes are: river bed backfilling and sedimentation, which diminishes clearance and increases submersion risks. Insufficient hydraulic area and clearance (Figure 42) generates local and overall undermining due to the shrinkage of the superstructure foundation components in the bridge. Therefore, the river bed may affect the access embankments of the bridge and, in some cases, they may even collapse.

Mal diseño que trae como consecuencia pilotes descubiertos de estribos y pilas, producto de socavación general y local.

Obstáculos innecesarios (árboles, piedras, casas, estructuras hidráulicas dañadas, etc.) en el cauce de los puentes que generan socavación local (Figura 43). Mala orientación en el puente, lo cual sucede cuando hay un ángulo alto de ataque de la corriente o de incidencia a la infraestructura del puente. La corriente ataca lateralmente las pilas y estribos reduciendo el ancho efectivo del cauce (ancho total menos el ancho de la proyección de los obstáculos), y por lo tanto se aumenta la velocidad de la corriente y se incrementa la profundidad de la socavación. Márgenes del cauce aguas arriba inestables, con la probabilidad de afectar la estabilidad de los puentes y la falta de mantenimiento correspondiente a limpieza de escombros u obstáculos en el cauce que produce aumento de la socavación.

Consequently, a defective design leads to uncovered piles and abutment piers due to overall and local undermining.

Unnecessary obstacles are found (damaged trees, stones, houses, hydraulic structures, etc) in the bridge river bed, which produce local undermining (Figure 43). An inadequate bridge allocation occurs when there is a high flow attack angle or incidence angle towards the bridge infrastructure. Water flow attacks the piles and abutment piers horizontally thus reducing the effective river bed width (total width less the obstacles impact width). Therefore, water flow speed rises and the undermining depth also increases. There are unstable upstream water margins, which may affect bridges stability. The lack of a maintenance program in charge of cleaning rubbish and obstacles from the river bed also increases undermining.



Figura 42. Problemas de contracción del flujo
Figure 42. Flow blockade situation



Figura 43. Obstrucción en el cauce que genera socavación
Figure 43. Flow blockade in the River bed generating undermining



Figura 44. Puente Banadia. Puente que colapso recientemente por socavación
Figure 44. Banadia Bridge recently collapsed due to undermining

Las deficiencias estructurales y la corrosión de los cables y elementos de armadura, son daños cuya evolución ha sido desfavorable, ya que se han identificado con mayor frecuencia en el último periodo de inspección 2007-2008. En el caso de los demás componentes han disminuido, debido especialmente al plan de reforzamiento de la superestructura de los puentes emprendido por el INVIAS.

Se encontró que el estado de los componentes afectados por el daño en el concreto/acero expuesto disminuyó, el cual era uno de los daños que se identificaba con mayor frecuencia en el periodo 1996-1997 y que es asociado con las deficiencias en los procesos de construcción. El estado de la losa afectada por deficiencias estructurales ha permanecido, cuya razón puede ser la sobrecarga de los camiones o su falta capacidad de carga.

Disminuyó el daño de infiltración, que afectaba la losa, producto de labores de mantenimiento, consistentes en destapar y/o alargar los correspondientes drenes localizados en los tableros de los puentes.

El estado de los componentes afectados por daños de socavación no tuvo mayor variación, es decir que sigue identificándose en un porcentaje importante, para lo cual el INVIAS permanece atento y preparado ante la ocurrencia de este fenómeno. Esto es importante, porque debido a este daño es que se han colapsado la mayoría de puentes en Colombia (Muñoz, E.E., 2001).

3. Conclusiones

Del total de 1995 puentes analizados y comparados en su totalidad para cada uno de los tres periodos analizados (1996-1997, 2001-2002 y 2007-2008), se concluye que el 67% de las estructuras está en buen estado (calificaciones 0, 1, 2), el 28% en condiciones regulares con daños significativos (calificación 3) y el 4% restante con daños graves o con riesgo de colapso (calificación 4 y 5) que requieren reparación urgente e inmediata.

Se encontró que el estado de todos los componentes calificados como malos (calificación 4 y 5) en el último periodo de inspección, disminuyó con respecto a los resultados de las inspecciones realizadas durante el periodo 2001-2002, lo cual se debe a las labores de mantenimiento y rehabilitación implementadas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Así mismo el estado de los componentes calificados como regulares (Calificación 3) no tuvo mayor variación durante los tres (3) periodos de inspección. El estado de algunos componentes calificados como buenos (calificación 0,1 y 2) aumentaron, mientras que otros no presentaron alguna variación.

Structural deficiencies and corrosion of wires and reinforcement structure are damages which evolution has been unfavorable, since they have been frequently detected during the last inspection period 2007-2008. However, such damages have decreased for the remaining components, especially due to a reinforcement plan on bridges superstructure developed by the INVIAS.

It was found that the condition of components affected by concrete/exposed steel damage decreased. It was one of the most frequent damages found during the period 1996-1997, which is associated to construction processes deficiencies. The condition of slabs affected by structural deficiencies still remains. The reason may be trucks overloading or the lack of the slab loading capacity.

Infiltration damage affecting the slab decreased due to maintenance tasks, which consisted in cleaning and/or enlarging the corresponding drains placed on bridge decks.

The condition of components affected by undermining remained stable. It means that there is still an important percentage of undermining. Therefore, INVIAS is focused and prepared to face this phenomenon to take place. This damage is highly relevant provided that most of the Colombian bridges have collapsed due to undermining. (Muñoz, E.E., 2001)

3. Conclusions

A total of 1995 bridges were fully analyzed and compared during three assessment periods 1996-1997, 2001-2002 and 2007-2008). It was concluded that 67% of structures are in good condition (classifications 0, 1 and 2). The 28% is under regular conditions showing significant damages (classification 3). The remaining 4% has serious damages, risking collapse (classification 4 and 5) and they require urgent and immediate repairing jobs.

During the last inspection period, it was found that the number of components classified as "poor" decreased (classification 4 and 5) in comparison to the results obtained from inspections developed during the period 2001-2002, which is the result of maintenance and restoration tasks implemented by INVIAS (National Roads Institute). Similarly, the condition of components classified as "regular" (classification 3) did not change during the three (3) inspection periods. The condition of some components classified as "good" increased (classification 0, 1 and 2), while others showed no changes at all.

4. Referencias/References

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 224R – D1 (2002)**, “Control of Cracking in concrete Structures”.
- Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca (1996^a). “Manual de inventario, inspección principal, inspección especial, inspección rutinaria y mantenimiento de Puentes”, Bogotá, Colombia.
- Muñoz E. (2001)**, “Estudio de las causas del colapso de algunos puentes de Colombia”. Ingeniería y Universidad, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Muñoz E., Valbuena E. y Rodríguez R. (2004)**, “Estado y daños típicos de los puentes de la Red Vial Nacional de Colombia, basados en inspecciones visuales”. Revista RUTAS, Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, España.
- Muñoz E. (2006)**, “Rehabilitación de puentes”, Revista de construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Universidad Javeriana (2008)**, “Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado)”. Capítulo de Puentes desarrollado por Edgar Eduardo Muñoz y Francisco Montes. Ministerio de Transporte, Bogotá, Colombia.
- Muñoz E., Poveda C. y Nuñez F. (2009)**, “Evolución del estado de los puentes de la red Vial nacional de Colombia”, CONPAT 2009 – X CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONTRUCCION – XII CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONTRUCCION, Pontificia Universidad Católica de Chile - Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- Muñoz E., (2013)**, “Libro: Ingeniería de Puentes: Historia, tipología, inspección visual, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica, capacidad de carga, mantenimiento y rehabilitación” Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.