

**EVALUACIÓN, DIAGNOSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN  
DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE**



**AUTORES:**

**CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PÉREZ**

**ERIKA DE JESÚS REYES RAVELO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA – D. T. y C.**

**2014**

**EVALUACIÓN, DIAGNOSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN  
DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN: OPTIMIZACIÓN DE COSTOS ESTRUCTURALES  
(ÓPTICOS)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SEGURIDAD ESTRUCTURAL**

**AUTORES:**

**CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PÉREZ**

**ERIKA DE JESÚS REYES RAVELO**

**DIRECTOR:**

**ING. WALBERTO RIVERA MARTÍNEZ**

**Magister en Estructuras**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA – D. T. y C.**

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios, por haber estado siempre con nosotras dándonos las fuerzas para cumplir este objetivo.

A nuestros padres, las personas que han estado presentes en cada momento significativo para nosotras y han sido un gran apoyo emocional para nuestras vidas, creyendo que las cosas siempre van a mejorar.

A nuestros hermanos por su compañía.

A nuestro tutor quien nos ha brindado todas las herramientas, conocimiento y apoyo para poder culminar esta etapa.

Brindamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización y culminación de este trabajo.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. MARCO DE REFERENCIA.....	16
1.1. MARCO TEÓRICO .....	16
1.1.1. Evaluación.....	16
1.1.2. Patología estructural .....	16
1.1.3. Durabilidad de las estructuras de concreto .....	17
1.1.4. Puentes .....	17
1.1.5. Partes de un puente .....	18
1.1.6. Daños en puentes de concreto .....	19
1.1.7. Ensayos no destructivos.....	34
1.1.8. Vulnerabilidad sísmica .....	36
1.2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	37
2. OBJETIVOS .....	40
2.1. GENERAL.....	40
2.2. ESPECÍFICOS .....	40
3. METODOLOGÍA .....	41
3.1. ETAPA 1. INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	42
3.2. ETAPA 2. INFORMACIÓN PRIMARIA.....	42
3.2.1. Inspección preliminar .....	43
3.2.1. Prueba de carbonatación con fenolftaleína .....	43
3.2.3. Prueba del esclerómetro.....	44
3.2.4. Prueba del pachómetro.....	45
3.2.5. Aforos vehiculares.....	45

4.	ALCANCE .....	46
4.1.	DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	46
4.2.	DELIMITACIÓN TEMPORAL .....	47
4.3.	ALCANCE DEL PROYECTO .....	47
5.	RESULTADOS .....	49
5.1.	DESCRIPCIÓN Y PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL PUENTE ROMERO AGUIRRE. ....	49
5.1.1.	Escaleras.....	49
5.1.2.	Barandas .....	51
5.1.3.	Andenes.....	53
5.1.4.	Capa de rodadura .....	54
5.1.5.	Vigas centrales en concreto.....	55
5.1.6.	Sistema de pilas .....	56
5.2.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	57
5.2.1.	Prueba de carbonatación .....	57
5.2.2.	Prueba del esclerómetro.....	59
5.2.3.	Pachómetro.....	60
5.3.	AFORO VEHICULAR.....	60
5.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	62
5.5.	PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN .....	79
5.5.1.	Capa de rodadura.....	79
5.5.2.	Barandas.....	79
5.5.3.	Andenes y Bordillos .....	79
5.5.4.	Pilas.....	79

5.5.5. Vigas .....	80
5.5.6. Accesos peatonales .....	80
5.5.7. Recomendaciones adicionales .....	80
5.6. CAUSAS DEL DETERIORO DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE .....	81
5.6.1. Andenes y bordillos .....	81
5.6.2. Barandas.....	81
5.6.3. Deterioro de pilas .....	81
5.6.4. Vigas .....	82
5.7. VULNERABILIDAD DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE .....	83
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	85
7. BIBLIOGRAFÍA .....	88

## LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 1. Partes de un Puente.....	19
Imagen 2. Patrón de fisuramiento en vigas simplemente apoyadas. ....	21
Imagen 3. Fisuras por cortante en vigas. Puente Cañada Profunda. Nariño .....	21
Imagen 4. Fractura por cortante en la Pila. Puente U Shi. Taiwan.....	22
Imagen 5. Patrón de fisuración por Torsión de una viga. ....	22
Imagen 6. Fisuración por Torsión de una Pila. Puente sobre la Quebrada Marmato, Caldas. ....	23
Imagen 7. Fractura por aplastamiento en el pedestal. Puente Cañada Profunda. Nariño .....	24
Imagen 8. Fracturas por aplastamiento en la viga de cimentación. Puente Palenquillo, Sucre. ...	24
Imagen 9. Volcamiento de una aleta. Puente Pacamí, Chocó. ....	25
Imagen 10. Presencia de hormigueros en la viga cabezal. Puente Río Meldar, Tolima. ....	27
Imagen 11. Segregación en un muro. Vía Simití- Centro de Burgos, Bolívar. ....	27
Imagen 12. Fisuración por retracción hidráulica. Puente Luis Ignacio Andrade, Tolima. ....	28
Imagen 13. Junta fría construida inadecuadamente. ....	29
Imagen 14. Recubrimiento inadecuado en la losa, exposición del acero de refuerzo y corrosión del mismo. Puente Q. Las Ánimas, Chocó.....	30
Imagen 15. Presencia de eflorescencias en el estribo del puente. Puente Río Meldar, Tolima. ...	31
Imagen 16. Evidencia de manchas de óxido en la superficie del concreto. Puente sobre el Río Quindío.....	32
Imagen 17. Contaminación del concreto de las aletas. Puente Río Meldar, Tolima. ....	33
Imagen 18. Fracturamiento del concreto y pérdida de la sección por impacto de un objeto. Muro de Contención, Carretera Buenaventura-Buga. ....	33
Imagen 19. Socavación en un estribo. Puente Meldar, Tolima. ....	34
Imagen 20. Zonificación del Puente Romero Aguirre. ....	43

Imagen 21. Prueba Del Esclerómetro. ....	44
Imagen 22. Prueba del pachómetro.....	45
Imagen 23. Localización de la ciudad de Cartagena de Indias.....	46
Imagen 24. Localización del puente Romero Aguirre. ....	47
Imagen 25. División por calzadas del puente Romero Aguirre.....	49
Imagen 26. Prueba de Carbonatación en Viga de la calzada 3.....	57
Imagen 27. Prueba de Carbonatación en la superficie de la viga de la calzada 1. ....	58
Imagen 28. Prueba de Carbonatación en Barandas.....	58
Imagen 29. Prueba de Carbonatación en Escaleras. ....	59
Imagen 30. Plano mapeo de patologías de las barandas. ....	64
Imagen 31. Plano mapeo de patologías de las Andén.....	65
Imagen 32. Plano mapeo de patologías de las Pilas.....	65
Imagen 33. Plano mapeo de patologías de las Vigas. ....	65
Imagen 34. Plano mapeo de patologías de la Calzada 1. ....	66
Imagen 35. Plano mapeo de patologías de la Calzada 2. ....	66
Imagen 36. Plano mapeo de patologías de la Calzada 3. ....	66



## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Recuento fotográfico No. 1 .....	50
Cuadro 2. Recuento fotográfico No. 2 .....	51
Cuadro 3. Recuento fotográfico No. 3 .....	52
Cuadro 4. Recuento fotográfico No. 4 .....	53
Cuadro 5. Recuento fotográfico No. 5 .....	54
Cuadro 6. Recuento fotográfico No. 6 .....	55
Cuadro 7. Recuento fotográfico No. 7 .....	56
Cuadro 8. Ficha patológica 01 .....	67
Cuadro 9. Ficha patológica 02 .....	68
Cuadro 10. Ficha patológica 03 .....	69
Cuadro 11. Ficha patológica 04 .....	70
Cuadro 12. Ficha patológica 05 .....	71
Cuadro 13. Ficha patológica 06 .....	72
Cuadro 14. Ficha patológica 07 .....	73
Cuadro 15. Ficha patológica 08 .....	74
Cuadro 16. Ficha patológica 09 .....	75
Cuadro 17. Ficha patológica 10 .....	76
Cuadro 18. Ficha patológica 11 .....	77
Cuadro 19. Ficha patológica 12 .....	78

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resistencia superficial del concreto. ....	59
Gráfico 2. Estudio Vehicular (Día típico) .....	61
Gráfico 3. Estudio Vehicular (Día Atípico). ....	61
Gráfico 4. Composición vehicular en el Puente Romero Aguirre. ....	62
Gráfico 5. Área de daños en Andenes y Barandas.....	63
Gráfico 6. Porcentaje de daños en Andenes y Barandas. ....	64

## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo realizar una evaluación cualitativa y diagnóstico patológico del Puente Romero Aguirre de Cartagena de Indias, ya que a través de esta evaluación patológica se identifican y caracterizan las patologías que presenta el mismo. A partir de los resultados de este estudio se planificarán las acciones necesarias para preservar esta estructura, además se protegerá la vida de los peatones y vehículos que transitan por este puente. Principalmente se realizó una inspección visual y detallada mediante un archivo fotográfico, mediciones y toma de muestras no destructivas del puente, comprendiendo de esta forma un estudio de tipo no experimental. Se obtuvieron elementos con menores daños a nivel estructural, ya que las vigas y el sistema de pilas presentaron fallas no significativas y que no representan ningún riesgo de desplome o funcionalidad del puente. Los elementos de la superestructura sin embargo si presentaron diferentes daños, las barandas presentan graves patologías tales como; desprendimiento total del concreto, exposición del acero y grietas. Los andenes cuya funcionalidad es importante para el tránsito peatonal se encuentra en estado de deterioro avanzado presentando desportillamiento y permitiendo así el crecimiento de vegetación en estos elementos. Las escaleras carecen de barandas y las pocas que aún se conservan se encuentran en estado de oxidación, estos elementos muestran daños como desprendimiento de material, grietas y fisuras. No se reportaron daños en cuanto a las vías del puente dado a que hace 4 años aproximadamente se realizaron labores de mantenimiento y recuperación de las calzadas de cada tramo. Ante los resultados obtenidos en el levantamiento patológico, se procedió a realizar propuestas de intervención para su posterior mantenimiento y recuperación.

**Palabras claves:** Diagnóstico patológico, patología, superestructura, levantamiento patológico.

## ABSTRACT

This study aims to make a qualitative assessment and pathological diagnosis of the bridge Romero Aguirre of Cartagena de Indias, as through this pathological evaluation are identified and characterized pathologies presenting it. From the results of this study the necessary actions to preserve this structure be planned also the lives of pedestrians and vehicles passing through this bridge will be protected. Primarily a visual and detailed inspection was performed by a photographic archive, making measurements and non-destructive sampling of the bridge, thus comprising a study of non-experimental. Items with minor damage at the structural level were obtained, since the beams and the cell system showed no significant failures and poses no risk of collapse or functionality of the bridge. The elements of the superstructure but if they had different damage rails have serious conditions such as ; total detachment of the concrete, steel and cracks exposure. The platforms whose functionality is important for pedestrian traffic is in a state of advanced deterioration presenting chipping and allowing vegetation growth in these elements. The stairs have no railings and the few that still remain are in oxidation state, these elements show damage and material removal, cracks and fissures. No damage was reported as far as the railroad bridge given that four years ago about maintenance and recovery of the roads were made of each section. Given the results of the pathological survey, we proceeded to make proposals for future maintenance intervention and recovery.

**Keywords:** Pathological diagnosis, pathology, superstructure, pathological survey.

## INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial de una ciudad es parte fundamental de su desarrollo social, así como su conservación. Parte de esta lo conforman los puentes que constituyen una estructura de conectividad, los cuales se deben programar para cumplir con nuevas exigencias de crecimiento y de desarrollo de la región.

Para la conservación de la red vial, es necesario implementar planes de mantenimiento, puesto que no se atiende mucho esta necesidad, lo que ha generado un deterioro en toda la red vial del país. Conservar todos los elementos de la red vial es un trabajo arduo que demanda atención permanente y se realiza con el objetivo de brindar seguridad y confort a los usuarios de los mismos.

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías. El deterioro presente en un puente dificulta el desplazamiento vehicular y peatonal, ocasionando incomodidad y a la vez inseguridad para los usuarios, por lo cual se debe realizar trabajos de mantenimiento y conservación para garantizar el buen funcionamiento de éste. Además la operación adecuada de estos y de todas las estructuras del sistema vial es un factor de interés para los sistemas de comunicación y transporte.

El puente Romero Aguirre, elemento vial importante de la ciudad de Cartagena que comunica los barrios Crespo y Canapote, el cual debido a la presencia de condiciones ambientales agresivas y cargas de tráfico variables presenta graves signos de deterioro que denotan abandono y falta de inyección económica a la infraestructura de la ciudad. (El Universal, 2013).

El puente Romero Aguirre se construyó bajo la administración de Gabriel García Romero, el cuál fue alcalde en el periodo 1992-1994, y desde su funcionamiento no se le había hecho ningún tipo de intervención hasta el 2010 cuando se le realizaron obras de recuperación de la capa asfáltica. La capa de asfalto de esta conexión vial estaba deteriorada debido al tránsito pesado de automotores, por lo cual fue sometida a trabajos de pavimentación que comenzaron con el fresado de la capa de rodadura existente, y concluyó con la fundición de una superficie asfáltica nueva de siete centímetros de espesor.

Actualmente el puente Romero Aguirre presenta daños evidentes en su estructura los cuales pueden ser causados por diversos factores, por lo cual es necesario que sea sometido a procesos de rehabilitación para detener su deterioro y de esta manera lograr su preservación. Todos los elementos del puente presentan daños a simple vista, en algunos elementos del puente por efecto de oxidación del acero, el concreto ha comenzado a fracturarse y es hora de prevenir a las autoridades, para que hagan una evaluación técnica que permita contratar el mantenimiento o reparación estructural. (Páez, 2011)

Con este estudio se propone diagnosticar y analizar las principales patologías presentes en el puente para así poder contribuir con una solución a los problemas que se presentan en él. Se considera que la realización de esta investigación y su resultado serán de vital importancia para la Ciudad, pues este estudio patológico permitirá a los administradores locales determinar eventuales intervenciones en dicha estructura y así garantizar la finalidad social para la cual se construyó el puente, que no es otra que mejorar la calidad de vida de la comunidad y contribuir al desarrollo social, económico y vial de la Ciudad.

El presente estudio tiene por objetivo realizar una evaluación y diagnóstico patológico del puente Romero Aguirre ubicado entre los barrios Crespo y Canapote de la ciudad de Cartagena. La importancia del estudio está en la necesidad hacer una revisión del estado actual del puente y realizar un proceso de rehabilitación y conservación de la estructura debido al deterioro evidente, donde se pueden identificar y caracterizar los daños. Para ello se identificará y caracterizará las patologías presentes en el puente a través de inspección visual detallada y ensayos no destructivos, además se determinará cualitativamente la vulnerabilidad del puente, lo cual permitirá proponer medidas para la intervención y rehabilitación del puente.

Es necesario que los ingenieros que estén dedicados al mantenimiento y recuperación de estructuras como puentes en la ciudad de Cartagena, cuenten con información fundamentada en la caracterización de las patologías y una guía para realizar inspecciones visuales detalladas de una estructura correctamente. Es importante que los ingenieros reconozcan la importancia de realizar las evaluaciones patológicas antes de planificar intervenciones en cualquier tipo de puente. Es ahí donde reside la importancia de este trabajo de grado, pues servirá de guía para evaluaciones patológicas futuras para cualquier puente de la ciudad.

El desarrollo de este proyecto permitió ampliar los estudios que se han realizado sobre patologías en estructuras de concreto reforzado y más en el caso de los puentes de la ciudad, ya que estos elementos no habían sido sometidos a estudios para verificar su estado actual. De ésta manera ésta investigación sirve como antecedente para futuros proyectos de evaluación patológica que se lleven a cabo en la ciudad.

La evaluación y diagnóstico patológico del puente Romero Aguirre de Cartagena de Indias permitió conocer el estado actual de la estructura y planificar las acciones necesarias para mitigar los daños presentes en él. El estudio se realizó a través de una inspección visual detallada de la estructura del puente, un recuento fotográfico detallado y un registro de todo lo observado y obtenido a través de los ensayos no destructivos realizados.

Desde el punto de vista científico y tecnológico, este trabajo de grado contó con las herramientas necesarias para su realización, además de asesorías de personas con conocimientos avanzados en el área. Es necesario destacar que todas las actividades que se llevaron a cabo durante el desarrollo de este trabajo de grado estuvieron supervisadas y asesoradas por el director de la investigación, ingeniero Walberto Rivera Martínez, quien ha venido realizando diferentes estudios de patología estructural a diferentes tipos de estructuras de la ciudad de Cartagena.

Este proyecto forma parte del grupo de investigación Optimización de Costos Estructurales (ÓPTICOS) en conjunto con la electiva de profundización Durabilidad y Patología De Estructuras de Concreto del programa de ingeniería civil de la Universidad de Cartagena.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

### 1.1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1.1. Evaluación

La evaluación es el proceso de determinar si una estructura o uno de sus componentes es adecuado para el uso pretendido, mediante el análisis sistemático de la información y los datos recolectados a partir de la revisión de la documentación existente, la inspección de campo, las condiciones de servicio, y los ensayos de los materiales. Este proceso de investigación no se puede generalizar y estandarizar en una serie bien definida de pasos ya que el número y tipo de pasos varía dependiendo del propósito especificado de la investigación, el tipo y las condiciones físicas de la estructura, la información disponible sobre el diseño y la construcción, la resistencia y calidad de los materiales de construcción.

La evaluación estructural debe desarrollarse con el fin de determinar la capacidad para soportar cargas de todos los elementos estructurales críticos y de la estructura como un todo. Se debe considerar la capacidad de la estructura para soportar todas las cargas presentes y previstas, de acuerdo con los requerimientos de los códigos estructurales vigentes. Cuando no se cumplan las exigencias de los códigos en la condición actual de la estructura, se debe entrar a considerar las técnicas y los métodos para un adecuado reforzamiento.

#### 1.1.2. Patología estructural

La patología del concreto se define como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que puede sufrir el concreto, sus causas, consecuencias y remedios. En resumen, se entiende por Patología a aquella parte de la durabilidad que se refiere a los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras del concreto.

El concreto puede sufrir, durante su vida, defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Algunos pueden ser congénitos por estar presentes desde su concepción y/o construcción; otros pueden haberlo atacado durante alguna etapa de su vida útil; y otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas que indican que se está produciendo



daño en la estructura incluyen manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa u otros. (Rivva, 2006)

Debido a que las estructuras de concreto simple o reforzado están expuestas, no solamente a la acción mecánica de las cargas de servicio; sino también, a otros factores que tienden a deteriorarlas y destruirlas como: acciones físicas (cambios bruscos de temperatura y humedad); algunas veces a agresiones de carácter químico o biológico; y eventualmente a otras acciones mecánicas, se hace indispensable profundizar en el diseño, especificaciones de la mezcla de concreto, métodos de protección, curado y en los procedimientos de inspección y mantenimiento de las estructuras. (Sanchez De Guzman, 2006)

### **1.1.3. Durabilidad de las estructuras de concreto**

El atributo de una estructura de conservar la cualidad de seguridad, resistencia, rigidez y estabilidad, durante toda su vida útil se denomina durabilidad. En otras palabras la durabilidad es la habilidad que posee una estructura para resistir agresiones físicas, químicas, biológicas y de los agentes atmosféricos conservando su integridad a través del tiempo, asegurando con ellos que no se alcance ningún estado limite dentro de la vida útil prevista, como consecuencia de eventuales deterioros prematuros. Una estructura es durable si ha tenido un diseño, construcción y conservación adecuados.

Ahora bien, en un contexto más amplio, el atributo de durabilidad va mucho más allá que la sola habilidad para resistir el deterioro. (Treviño Treviño, 1998)

### **1.1.4. Puentes**

Un puente es una obra de arte con la que se salva un obstáculo, dando continuidad a una vía conectando dos puntos, los obstáculos a salvar pueden ser otra vía, ya sea carretable o férrea. Una corriente de agua o una depresión del terreno.

Los puentes se construyen con el fin de permitir la circulación de personas, vehículos, trenes y líquidos.

### **Puentes Isostáticos**

Son las estructuras en las cuales el tablero son estáticamente independientes de los entre tableros y en lo concerniente a flexión para los apoyos.

### **Puentes Hiperestáticos**

Son aquellos puentes que aunque los tableros son independientes uno de otros desde el punto de vista estático existe alguna relación de dependencia con los apoyos.

#### **1.1.5. Partes de un puente**

##### **Subestructura**

La subestructura sirve de apoyo a la superestructura, está conformada por la cimentación, los estribos y las pilas.

##### **Cimentación**

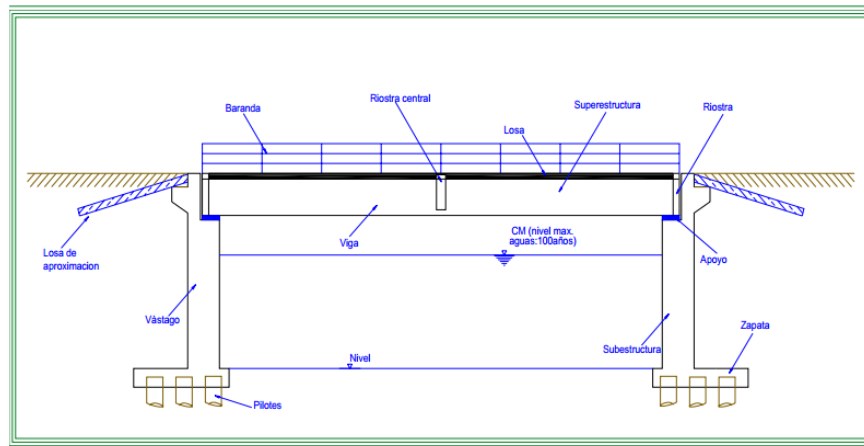
Encargada de transmitir al suelo de fundación las cargas propias de la subestructura, de la superestructura y de las cargas que operan sobre el puente esta puede ser superficial o profunda, superficial como zapatas de concreto reforzado o profundas como Caisson o pilotes de concreto reforzado ya sea hincados (pilotes), fundidos in situ (pilotes y Caisson).

##### **Estribos**

Son las estructuras ubicadas en los extremos de los puentes (accesos) y soportan la superestructura, además sirven para contención de los terraplenes.

##### **Superestructura**

Es la parte del puente que recibe directamente la carga viva. Su posición relativa con respecto a la subestructura es variable, pudiendo ser superior intermedia o inferior. (Fajardo Niño & Viasús Pérez, 2007)



**Imagen 1.** Partes de un Puente.

**Fuente:** (Fajardo Niño & Viasús Pérez, 2007)

Los puentes deben ser proyectados para cumplir satisfactoriamente las condiciones impuestas por los estados límite previstos en el proyecto, considerando todas las combinaciones de carga que puedan ser ocasionadas durante la construcción y el uso del puente. Asimismo deben ser proyectados teniendo en cuenta su integración con el medio ambiente y cumplir las exigencias de durabilidad y servicio requeridas de acuerdo a sus funciones, importancia y las condiciones ambientales.

Los puentes deberán ser diseñados teniendo en cuenta los estados límite, para cumplir con los objetivos de constructibilidad, seguridad y serviciabilidad, así como con la debida consideración en lo que se refiere a inspección, economía y estética. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003)

### **1.1.6. Daños en puentes de concreto**

A continuación se presenta una síntesis de los diferentes daños o defectos que inciden en el deterioro de los elementos de un puente, por una sucesión de procesos que atentan la durabilidad de la estructura.

#### **1.1.6.1. Daños por diseño**

Estos daños están relacionados con la concepción y diseño del proyecto. Entre las fallas más comunes en esta etapa se tienen las siguientes causas:

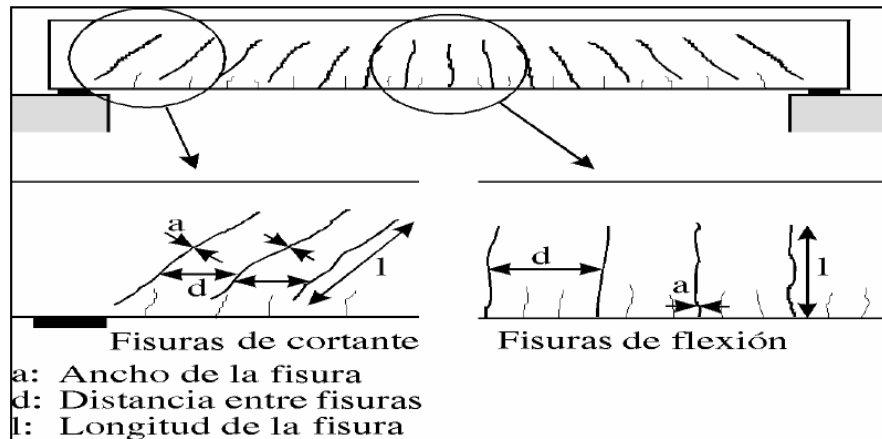
- Ausencia de cálculos.
- Estimación inadecuada de cargas y condiciones de servicio.
- No considerar juntas de construcción.
- Uso inadecuado de los programas de computador.
- Mal dimensionamiento de los elementos estructurales.
- Falta de especificaciones y características de los materiales.
- Ausencia o falta de detalles constructivos y estructurales.
- Inapropiada disposición del acero de refuerzo o por insuficiencia del mismo.
- Uso de especificaciones obsoletas.

**I. Fisuras:** las fisuras son el resultado de los esfuerzos que actúan sobre los elementos estructurales. Normalmente cualquier elemento de concreto reforzado es propenso a que se presente fisuraciones bajo las cargas normales de servicio, sin embargo, cuando el ancho de las fisuras producidas es grande (mayor a 0,5 mm) se considera como una manifestación patológica y pueden afectar el funcionamiento de la estructura.

El factor de fisuramiento generalmente se debe describir mediante las siguientes dimensiones: el espesor, la longitud, la dirección de la fisura y la distancia entre éstas; anotando las observaciones que se consideren relevantes sobre el elemento en el cual se presentan las fallas.

**a. Fisuras por flexión (FIF):** las fisuras por flexión en una viga o una losa generalmente 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; al principio crecen verticalmente y luego se inclinan bajo la influencia del esfuerzo cortante cuando se aproximan a los apoyos.

El ancho de las fisuras indica el nivel del esfuerzo de tracción al que han sido sometidas las barras de refuerzo; anchos pronunciados indican altos esfuerzos por exceso de carga y/o por insuficiencia de refuerzo longitudinal principal.



**Imagen 2.** Patrón de fisuramiento en vigas simplemente apoyadas.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- b. Fisuras por cortante (FIC):** los esfuerzos de corte en vigas y losas generan fisuras oblicuas generalmente formando un ángulo de  $45^\circ$  con la dirección del acero principal (longitudinal), las fisuras presentan un ancho variable y separación máxima correspondiente a la separación del refuerzo transversal. Normalmente las fisuras por cortante se presentan en las zonas cercanas a los apoyos, sin embargo también pueden presentarse en el centro de la luz del elemento si hay cargas puntuales o pocos estribos. Frecuentemente se presentan varias fisuras paralelas, con separación variable.



**Imagen 3.** Fisuras por cortante en vigas. Puente Cañada Profunda. Nariño

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

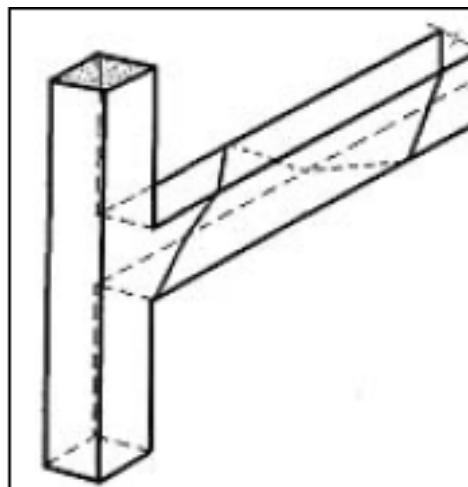


**Imagen 4.** Fractura por cortante en la Pila. Puente U Shi. Taiwan

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- c. **Fisuras por torsión (FIT):** son fisuras transversales e inclinadas similares a las fisuras por cortante pero se diferencian en que las fisuras causadas por esfuerzos de torsión siguen un patrón de espiral o de tipo helicoidal que atraviesan toda la sección de los elementos.

En estructura de concreto armado los esfuerzos de torsión generan fisuras inclinadas en cada una de las caras del elemento, generalmente son fisuras continuas que van rodeando todo el elemento de concreto con una tendencia a seguir líneas a  $45^\circ$ , denotando armaduras de refuerzo insuficiente para contrarrestarlos o disposición inadecuada de las barras de refuerzo.



**Imagen 5.** Patrón de fisuración por Torsión de una viga.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)



**Imagen 6.** Fisuración por Torsión de una Pila. Puente sobre la Quebrada Marmato, Caldas.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

**II. Aplastamiento local (AL):** las fracturas o grietas por aplastamiento tienen su origen en la alta concentración de cargas que se presentan en las zonas de apoyo de los elementos simplemente apoyados, o en las zonas de anclaje para el preesfuerzo de torones y cables.

Los daños producidos por aplastamiento tienden a fracturar la sección de concreto localizada directamente bajo la carga concentrada. Cuando en los elementos de apoyo no existe una transición adecuada mediante mecanismos de amortiguamiento, es común la presencia de fracturas por aplastamiento, en el concreto del elemento de apoyo.



**Imagen 7.** Fractura por aplastamiento en el pedestal. Puente Cañada Profunda.

Nariño

**Fuente:** (INVIAS, 2006)



**Imagen 8.** Fracturas por aplastamiento en la viga de cimentación. Puente

Palenquillo, Sucre.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

**III. Asentamientos (AS):** hace referencia a los movimientos verticales diferenciales, que se pueden presentar en las estructuras cuando no existe un diseño apropiado de la cimentación.

El patrón de daño por asentamiento de las pilas de un puente, generalmente se relaciona con la presencia de fisuras en la parte superior o inferior de las vigas adyacentes, deflexiones y fracturas en los apoyos. Normalmente las fisuras por



asentamiento, siguen la dirección vertical o con poca inclinación, de ancho y longitud variable.

- IV. Volcamiento (VO):** este proceso puede presentarse directamente en las estructuras por mal dimensionamiento de los elementos, por diseños inadecuados o insuficientes (cimentación-estructura), e indirectamente como consecuencia de la generalización de los daños presentes en la estructura (socavación, asentamientos diferenciales) y como resultados de eventos fortuitos no previstos tales como sismos, deslizamientos y explosiones, entre otros.



**Imagen 9.** Volcamiento de una aleta. Puente Pacamí, Chocó.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- V. Vibración Excesiva (VI):** se refiere al movimiento que se percibe en la estructura debido a sobrecargas, fuerzas no consideradas en el diseño, falta de rigidez, y/o diseños deficientes. El efecto de la vibración excesiva en las estructuras es acumulativo, de ahí su importancia; si no se controla se produce fatiga en los diferentes elementos del puente, hasta ocasionar daños que puedan llevar al colapso. Normalmente en la práctica no es muy factible realizar estudios detallados para controlar el efecto de las vibraciones en las estructuras de concreto reforzado.

Las consecuencias de la vibración excesiva se manifiestan mediante deficiencias estructurales de acuerdo a la intensidad del mecanismo que la genera, desde microfisuras o fisuras hasta el colapso de la estructura a través de la percepción de los usuarios.

#### 2.1.6.2. Daños por construcción

Estos daños pueden originarse por la utilización de los materiales con calidad inadecuada (cemento, agregados, agua), problemas en la dosificación, la producción, el transporte, la colocación y el curado. Las fallas más comunes durante el proceso de construcción se dan por las siguientes causas:

- Inadecuada interpretación de los planos.
- Equivocada localización del refuerzo.
- Deformaciones en la formaleta.
- Falta de control de la formaleta antes y durante el vaciado del concreto.
- Descimbrado inadecuado o anticipado.
- Desplazamiento del acero de refuerzo durante el vaciado.
- Prácticas deficientes en la colocación y compactación del concreto.
- Empleo de concretos con dosificación inadecuada.
- Ausencia o mala protección y curado del concreto.
- Carga prematura de la estructura.
- Falta de control de calidad de los materiales.

- I. Hormigueros (HO):** alteración sufrida por el concreto, definida por la presencia de oquedades superficiales que quedan en el concreto endurecido, evidenciando zonas vacías en las caras de los elementos. Los hormigueros son causados generalmente por falta de vibrado, compactación excesiva o deficiente, prácticas inapropiadas en la colocación del concreto en zonas con alta densidad de refuerzo, dosificaciones inadecuadas de mezclas de concreto, etc.



**Imagen 10.** Presencia de hormigueros en la viga cabezal. Puente Río Meldar, Tolima.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- II. Segregación (SE):** distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, manifestada como la separación éstos con la pasta, propiciando un desplazamiento de los agregados gruesos hacia la parte inferior.

La segregación es ocasionada entre otros factores por una dosificación inadecuada, concreto vertido de alturas excesivas, faltas o exceso de vibrado, empleo de agregados gruesos sin aparente cohesión, exceso de agregados gruesos o finos, etc.



**Imagen 11.** Segregación en un muro. Vía Simití- Centro de Burgos, Bolívar.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

**III. Fisuración por retracción (FIR):** la fisuración por retracción plástica ocurre mientras el concreto está en estado fresco, generalmente se presentan en superficies horizontales, con relación superficie libre/ volumen mayor a 3.5, entre la primera y las seis primeras horas después fundido, generando fisuras y microfisuras que se extienden rápidamente.

Generalmente son fisuras de poco espesor (0.2 mm a 4 mm) y su longitud puede variar desde unos cuantos centímetros hasta aproximadamente 1.5 metros. Comúnmente son fisuras en forma de línea recta que no siguen un mismo patrón y no presentan ninguna simetría.

La retracción por secado y por la retracción hidráulica se manifiestan mediante fisuras que surgen durante las primeras horas después de la fundida, producto de la pérdida de agua por evaporación y del proceso de endurecimiento del concreto, si el elemento se encuentra restringido en su movimiento por la formaleta.



**Imagen 12.** Fisuración por retracción hidráulica. Puente Luis Ignacio Andrade, Tolima.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

**IV. Construcción inadecuada de juntas frías (JF):** la continuidad entre concretos vaciados en diferentes etapas que no se tratan correctamente, afectan directamente la durabilidad de la estructura; el diseño inadecuado de juntas o una mala construcción de las mismas permiten el ingreso de agentes agresivos como: sulfatos, cloruros,

carbonatos, etc, los cuales atacan directamente al concreto o a las armaduras, reduciendo la vida útil de la estructura.



**Imagen 13.** Junta fría construida inadecuadamente.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- V. Recubrimiento inadecuado (RE) y Exposición del acero de refuerzo (EXA):** las barras de refuerzo deben tener un recubrimiento adecuado de concreto según el ambiente al cual estarán sometidas y el tipo de elemento estructural que formen, cumpliendo con las especificaciones del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes.

Cuando, por error o malas prácticas de construcción, el recubrimiento es inadecuado, su disposición final termina afectando la durabilidad o la capacidad portante de la estructura, exponiendo el acero de refuerzo al ambiente y generando problemas de corrosión. Una falla típica es no mantener la separación adecuada de las barras de refuerzo durante la construcción del elemento.



**Imagen 14.** Recubrimiento inadecuado en la losa, exposición del acero de refuerzo y corrosión del mismo. Puente Q. Las Ánimas, Chocó.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

### 2.1.6.3. Daños durante el funcionamiento

Aparecen durante el período de vigencia o vida útil de la estructura por diferentes acciones ya sean físicas, mecánicas, químicas o biológicas. Durante el funcionamiento de la estructura se pueden presentar fallas por incremento de las cargas permitidas, por eventos fortuitos (impactos accidentales, explosiones, inundaciones, incendios, etc), por cambio en las condiciones de exposición, uso y por falta de mantenimiento, reparación o rehabilitación de la estructura.

- I. **Infiltración (IN) y Eflorescencias (EF):** las eflorescencias consisten en el depósito de sales que son lixiviadas fuera del concreto, las cuales se cristalizan luego de la evaporación del agua que las transportó. Ocurren frecuentemente en la superficie del concreto cuando el agua tiene la posibilidad de percollar a través del material, en forma intermitente o continua, o cuando se presentan procesos de humedecimiento y secado alternadamente.

Las eflorescencia en si mismas no constituyen un problema de durabilidad de las estructuras, sin embargo, además de afectar la estética, ocasionan un incremento dela

porosidad del concreto y un aumento en la permeabilidad, permitiendo que el concreto sea más vulnerable a otras patologías que deterioran la estructura.



**Imagen 15.** Presencia de eflorescencias en el estribo del puente. Puente Río Meldar, Tolima.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- II. Carbonatación (CAR):** es la reacción que se presenta entre el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire atmosférico o del suelo con los componentes alcalinos del concreto  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , generando carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y la disminución de la reserva alcalina del concreto. La carbonatación es un proceso que avanza lentamente pero de forma continua hacia adentro de la superficie expuesta del concreto, facilitando el proceso corrosión del acero de refuerzo de las estructuras de concreto y finalmente su mismo deterioro. La carbonatación avanza más rápidamente cuando se tiene un contenido de humedad intermedio (40 a 70 %HR).
- III. Corrosión de la armadura (COA):** la corrosión de las armaduras es un proceso electroquímico que causa la oxidación del acero de refuerzo en el concreto. Los factores que favorecen el proceso de corrosión se relacionan con las características del

hormigón, el espesor del recubrimiento, la localización de la armadura y el medio ambiente al cual está expuesta la estructura.

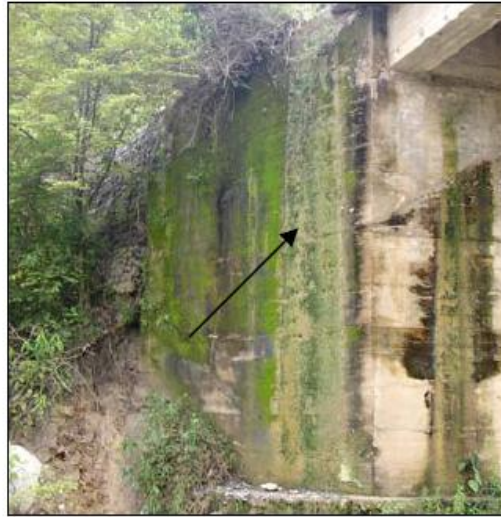


**Imagen 16.** Evidencia de manchas de óxido en la superficie del concreto. Puente sobre el Río Quindío.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- IV. Contaminación del concreto (CTC):** la presencia de microorganismos en las estructuras de concreto no solo afectan la estética, también puede inducir fallas de carácter físico o químico y aumentar el deterioro de daños preexistentes. La acción de organismos biológicos aumenta la permeabilidad del concreto, conduce la saturación del material y por consiguiente causa daños por acción de los procesos de humedecimiento y secado, transformando los compuestos del cemento. Usualmente los microorganismos de origen vegetal prefieren las superficies de concreto rugosas, porosas y húmedas, para establecer sus colonias. Durante el ciclo de vida de esa vegetación se producen sustancias que pueden ocasionar ataques químicos al concreto desencadenando desintegración de la pasta de cemento, entre estos se destacan las algas, líquenes y musgos.





**Imagen 17.** Contaminación del concreto de las aletas. Puente Río Meldar, Tolima.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

- V. **Fallas por impacto (IMP):** el impacto de un cuerpo en una estructura puede generar diversas consecuencias, dependiendo de factores tales como: la velocidad y tamaño de elemento que impacta, la resistencia y el estado del material que es impactado. Dependiendo de la magnitud del golpe se pueden provocar daños leves como fisuramientos y descascamientos o fallas de consideración como propagación de grietas, pérdida de la rigidez y colapso de la estructura.



**Imagen 18.** Fracturamiento del concreto y pérdida de la sección por impacto de un objeto. Muro de Contención, Carretera Buenaventura-Buga.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

**VI. Socavación (SOC):** erosión causada por el agua o por materiales abrasivos transportados por una corriente, la cual genera desgaste del concreto y fallas de estabilidad. La socavación es típica de los estribos, aletas, pilas, cimentación de los puentes y lecho de los ríos.



**Imagen 19.** Socavación en un estribo. Puente Meldar, Tolima.

**Fuente:** (INVIAS, 2006)

#### **1.1.7. Ensayos no destructivos**

Consiste en la aplicación de ciertas pruebas sobre un objeto, para verificar su calidad sin modificar sus propiedades y estado original.

Estas pruebas permitirán detectar y evaluar discontinuidades o propiedades de los materiales sin modificar sus condiciones de uso o aptitud para el servicio.

Los ensayos no destructivos están basados en principios físicos y de su aplicación se obtienen los resultados necesarios para establecer un diagnóstico del estado o de la calidad del objeto inspeccionado. (Bunge & Magallanes, 2011)

### 2.1.7.1. Esclerómetro

Trata de relacionar la dureza superficial del hormigón con su resistencia a compresión. En realidad, el aparato mide el rebote de una masa al chocar contra la superficie del hormigón a estudiar. La sencillez y economía del método lo hacen muy atractivo, aunque, como se puede ver más adelante, presenta importantes limitaciones.

Las aplicaciones del método, generalmente admitidas, son las siguientes:

- Estimar la uniformidad de la calidad del hormigón.
- Comparar la calidad de un hormigón determinado con otro de referencia.
- Obtener valores de resistencia a la compresión a partir de correlaciones con un ensayo directo (índice de rebote/rotura de probetas). La precisión del método se estima en un 25 % para un nivel de confianza de un 95 %.

No es recomendable su uso para determinar resistencias sin una correlación previa, es decir, si se utiliza únicamente la curva general que suministra el fabricante del aparato.

El problema fundamental del aparato es que mide una propiedad superficial (la dureza) cuando la pretensión es encontrar una propiedad interna: la resistencia. (Construmática)

### 2.1.7.2. Prueba de Carbonatación

La carbonatación en el concreto es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio, que tiene un pH más neutral.

### 2.1.7.3. Pachómetro

Un pachómetro es un aparato capaz de detectar elementos metálicos ocultos; por ello se usa para la localización de las barras de acero de un elemento de hormigón. Hay varios modelos, los más sencillos nos informan sobre la posición de la barra y su dirección, y los más sofisticados que nos proporcionan una estimación del diámetro y del recubrimiento de la barra. El aparato está formado por varias sondas y un módulo de

lectura y control. El funcionamiento se basa en la medida de resistencia al flujo magnético generado por la sonda, que cuanto más cerca está de un elemento metálico, más pequeña es la resistencia.

También hay pachómetros analógicos, que su funcionamiento se basa en la medición del potencial eléctrico. Su utilización consiste en pasar la sonda por la superficie de hormigón, variando la dirección, hasta obtener una lectura máxima que corresponderá con la situación de la barra. Para conocer el diámetro y el recubrimiento se necesitan otros aparatos más complejos que son capaces de determinarlos a partir de la realización de dobles lecturas con interposición de una galga de grosor conocido u operando con varias sondas distintas. La fiabilidad de este aparato no es total, por lo que para un trabajo con cierta responsabilidad se recomienda hacer comprobaciones a partir de catas.

Dentro de esta familia, los aparatos más sencillos son los detectores de metal pensados para la localización de instalaciones. La respuesta ante la presencia de un elemento metálico es la emisión de una señal acústica fija, de manera que sólo nos informa de la presencia de metal. Con un pachómetro podemos detectar cemento aluminoso. Se ha demostrado que cuando el palpador está en contacto con cemento aluminoso se obtiene una respuesta al campo magnético muy superior a la que aparece con cemento Pórtland. El problema es si interfieren armaduras cercanas en la lectura. (Mengual Muñoz)

#### **1.1.8. Vulnerabilidad sísmica**

Se denomina vulnerabilidad al grado de daño que sufre una estructura debido a un evento sísmico de determinadas características. Estas estructuras se pueden calificar en “más vulnerables” o “menos vulnerables” ante un evento sísmico.

Se debe de tener en cuenta que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es una propiedad intrínseca a sí misma, y, además, es independiente de la peligrosidad del lugar ya que se ha observado en sismos anteriores que edificaciones de un tipo estructural similar sufren daños diferentes, teniendo en cuenta que se encuentran en la misma zona sísmica. En otras palabras una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico o amenaza sísmica. (Biblioteca UdeP)

## 1.2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

En una red vial para la transformación en general y en consecuencia para el desarrollo de los habitantes preservar esta estructura de una degradación pre natural es una de las tareas más importantes de cualquier administración de carreteras sean públicas o privadas. Lo cual lleva a emplear una serie de investigaciones en donde se facilita detectar las fallas de los puentes sin derrumbarlos por completo.

Actualmente son varios los artículos, investigaciones y publicaciones acerca de patología de puentes. Los puentes pueden presentar fallas estructurales tales como fisuras, corrosión y exposición del acero de refuerzo, entre otros factores, por lo cual varios países del mundo han adoptado técnicas y manuales para estudiar y clasificar las patologías, y con el estudio de las mismas han logrado obras de rehabilitación de éstas estructuras.

Michael P. Enright y Dan M. Frangopol, por ejemplo en su estudio titulado “SURVEY AND EVALUATION OF DAMAGED CONCRETE BRIDGE” se centran en los daños reportados de puentes de hormigón, especialmente a los puentes ubicados en el estado de Colorado (USA), un estudio sobre los mecanismos de degradación que presenta y se aplica para diversos puentes de concreto basado en información de la literatura y de estudios de campo realizados por el Departamento de Transporte de Colorado. Los resultados mostraron que la fuente más común de los daños por corrosión es agua que se escapa a través de las juntas del tablero.

Este estudio genera un aporte significativo debido a que se refiere a los daños presentados en un puente de concreto armado y de los diferentes mecanismos de deterioro.

Por otra parte, Goldschmidt Pablo, D’Ascenzo Nello y Favretto Mario P, en su artículo “PATOLOGIA EN PUENTES DE LA RED VIAL DEL CHACO” en Chaco (ARGENTINA) realizaron un trabajo de Investigación Tecnológica mediante el cual fuera posible detectar problemas originados por patologías diversas que pudieran afectar a los puentes de la red vial provincial o en aquellos de la red nacional cuya conservación estuviera a cargo de la Provincia.

Los objetivos propuestos para la tarea consistieron, a partir de la toma de conciencia de la importancia de la conservación como mecanismo imprescindible para evitar un acortamiento de

la vida útil de las obras, el de desarrollar un sistema de control que permitiera detectar las fallas a tiempo y repararlas a medidas que ellas se produzcan, por cuanto la demora en solucionarlas incrementa los costos y crea inseguridad en el tránsito. Este trabajo reveló que resulta necesario en función de la vida útil de las obras organizar un sistema de vigilancia continuo de los puentes de la red vial, con un equipo que se integre con personal técnico con los conocimientos necesarios de la especialidad y un entrenamiento adecuado que les permita realizar diagnósticos correctos detectando las fallas que se produzcan.

Se toma este artículo como apoyo para el desarrollo de ésta investigación ya que suministra posibles soluciones para evitar el acortamiento de la vida útil del puente y para realizar correctos diagnósticos en la detección de las fallas que en él se produzcan.

En Colombia, también se han adelantado estudios de tipo patológico en puentes. Podemos mencionar el estudio “REHABILITACIÓN DE LOS PUENTES DE LA RED DE CARRETERAS DE COLOMBIA, BASADOS EN INSPECCIONES VISUALES, ESTUDIOS ESPECIALIZADOS Y ESTRATEGIAS DE REPARACIÓN” realizado por Edgar Muñoz, Rafael Hernández, Edgar Valbuena, Luz Trujillo y Libardo Santacruz en la ciudad de Bogotá.

En este artículo se hace una descripción de cada uno de los módulos que hacen parte del Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL), implementado desde 1996 por parte del Instituto Nacional de Vías (Invias). Incluye sus alcances y ventajas en lo referente a las labores de mantenimiento y conservación. Además se expone su utilidad y beneficio, mediante la evaluación estadística de su estado en dos (2) periodos diferentes de inspección. De cada componente se estudia sus principales daños, causas, los estudios necesarios y los tipos de reparaciones recomendadas. Los daños principales detectados son causados en general por insuficiencia estructural (falta de capacidad de carga), descomposición, corrosión, infiltración y socavación. Los estudios que más se han ejecutado son los de capacidad de carga, vulnerabilidad sísmica y de socavación. Para solucionar el problema se ha incrementado en los últimos años el mantenimiento y las obras de rehabilitación.

Esta investigación sustenta información valiosa para este trabajo, no solo por poseer características en el tema a estudiar, si no que ostenta en su desarrollo de técnicas para el avance

del tema que fortalecerán la averiguación propuesta. Esto lo hace uno de los más importantes antecedentes encontrados.

Cabe resaltar que en la ciudad de Cartagena no se ha realizado un estudio detallado del estado patológico de los puentes, por tanto no es posible realizar una comparación de éste trabajo investigativo con estudios previos relacionados con el problema de investigación. Por ésta razón es importante el desarrollo de éste estudio para comenzar una evaluación clara y exhaustiva de las patologías estructurales que presenta el puente teniendo en cuenta y basándose en manuales, investigaciones y/o artículos relacionados con éste tema por lo cual se hace indispensable consultar los resultados y conclusiones de estudios que se han realizado a nivel internacional, nacional y local.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. GENERAL

Evaluar y diagnosticar los daños presentes en el puente Romero Aguirre, utilizando el Manual para la Inspección Visual de Puentes y Pontones de INVIAS (2006) y mediante la realización de ensayos no destructivos, con la finalidad de dar propuestas de intervención para el mantenimiento y rehabilitación de la estructura.

### 2.2. ESPECÍFICOS

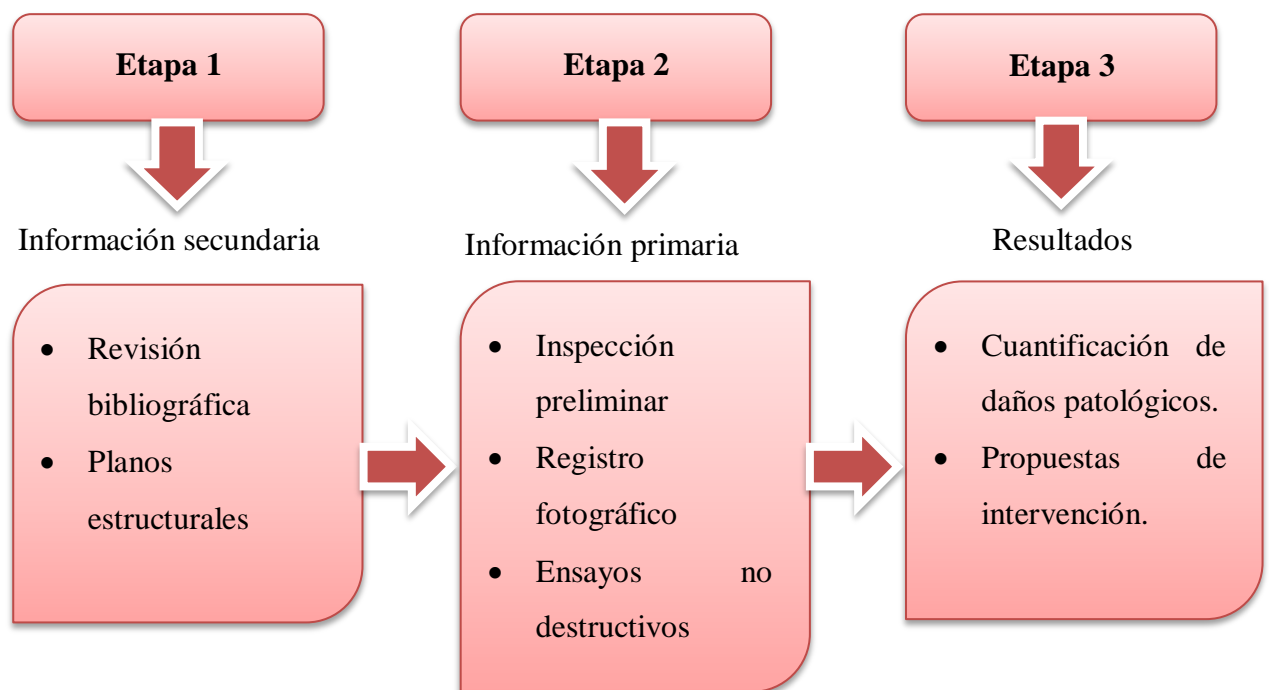
- Analizar e identificar con base en el Manual para la Inspección Visual de Puentes y Pontones de INVIAS (2006) los daños presentes en el puente Romero Aguirre.
- Determinar mediante ensayos no destructivos como esclerómetro, prueba de carbonatación y pachómetro las condiciones estructurales del puente Romero Aguirre.
- Identificar cualitativamente la vulnerabilidad del puente.
- Construir un mapa de daños del puente Romero Aguirre.
- Generar propuestas de intervención para el mantenimiento y rehabilitación del puente Romero Aguirre.



### 3. METODOLOGÍA

El tipo de esta investigación es determinado como investigación mixta ya que se basó en investigación documental y en estudios de campo, los cuales mostraron los datos que en este caso son los daños y fallas, las posibles causas y el estado actual del puente ROMERO AGUIRRE y a partir de éstos se obtuvieron las conclusiones sobre las propuestas de intervención a realizar para su recuperación. La investigación es clasificada como un estudio de caso por lo cual se basó en hechos concretos teniendo claro que para esto se necesitó exploración, inspección y evaluación del objeto de estudio. Esta investigación fue un diseño no experimental ya que no se realizó una relación de causa-efecto, puesto que ya los efectos están y se determinó las posibles causas y cuantificación de los daños.

El estudio consistió en 3 etapas.



### **3.1. ETAPA 1. INFORMACIÓN SECUNDARIA.**

En esta etapa se seleccionó el material de información disponible en revistas científicas, libros, manuales, trabajos de grado y documentos relacionados con diagnóstico patológico en puentes, así como los factores que causan éste deterioro. Información que fue extraída virtualmente en la base de datos de la Universidad de Cartagena y físicamente como los planos estructurales del puente ROMERO AGUIRRE suministrados por el personal de la oficina de EDURBE.

### **3.2. ETAPA 2. INFORMACIÓN PRIMARIA.**

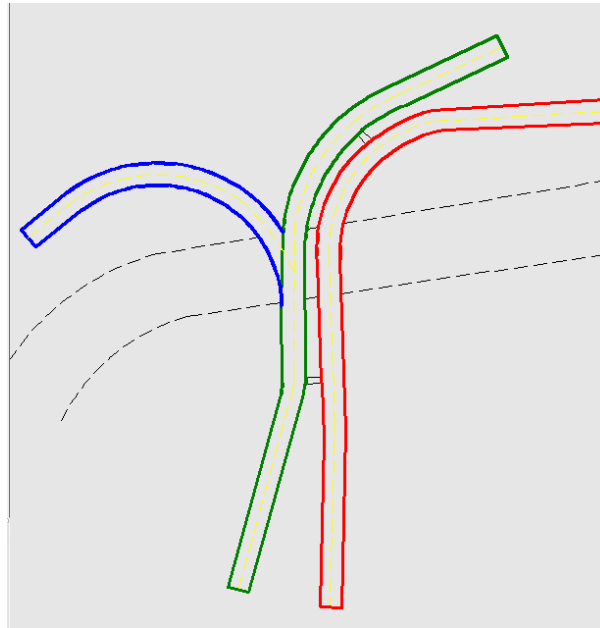
Esta investigación resulta de un trabajo de recolección de información en campo, los cuales se realizaron a partir de constantes visitas técnicas donde se realizó una inspección visual detallada para llevar un registro fotográfico de cada uno de los daños y fallas patológicas. Además, se realizaron ensayos no destructivos tales como la prueba de carbonatación, ensayo de esclerómetro y pachómetro en las vigas y pilas del puente con el objetivo de determinar las condiciones en las que se encuentra la estructura. Cabe recalcar que la mayoría de estos ensayos se realizaron con el suministro de un personal a cargo de la empresa HBJ Ingeniería, ésta recopilación de información será de tipo cuantitativo pues se realizó un estudio detallado del número de daños en el puente Romero Aguirre. También se realizaron aforos vehiculares en el lugar para determinar flujo vehicular. Estas inspecciones y toma de datos se realizaron en un tiempo de un mes.

Para comprender mejor la estructura estudiada, se dividió el puente en zonas teniendo en cuenta el número de calzadas y de ésta manera se facilitó la ubicación de los ensayos. La zonificación del puente ROMERO AGUIRRE se muestra en la siguiente ilustración:

Calzada 1: Sentido Canapote - Crespo (Rojo)

Calzada 2: Sentido Crespo – Canapote (Verde)

Calzada 3: Sentido Centro – Canapote (Azul)



**Imagen 20.** Zonificación del Puente Romero Aguirre.

Teniendo en cuenta la división del área de trabajo se procedió a realizar la inspección y los ensayos que se describen a continuación:

### **3.2.1. Inspección preliminar**

Para poder hacer un reconocimiento de las condiciones y de los daños presentes en el puente ROMERO AGUIRRE se hizo un recorrido por toda la estructura y se realizó un registro fotográfico donde se evidenciaron los patógenos a evaluar tales como: Fisuras, Grietas, Desprendimientos, Exposición del acero, Oxidación y Humedad. Se tomaron en total 212 fotografías de la estructura.

### **3.2.1. Prueba de carbonatación con fenolftaleína**

Para esta prueba se utilizó una solución indicadora con una solución al 1% de fenolftaleína en alcohol y se aplicó con un rociador.

Antes de aplicar la solución de fenolftaleína sobre el elemento a ensayar se debe romper hasta una profundidad donde se sospeche que habrá carbonatación, en este caso se realizaron

perforaciones de aproximadamente 5 cm de diámetro con una profundidad de 5 cm, estas medidas tomadas por el tiempo que lleva construido el puente ROMERO AGUIRRE se asume que la carbonatación no sobrepasa los 3 cm de carbonatación debido al tiempo de construcción.

Después de limpiar el polvo residual del elemento, se rocía la solución de fenolftaleína sobre el concreto. Las áreas que están carbonatas no deben presentar ningún tipo de reacción es decir no cambian de color, mientras que las áreas con un PH mayor a 9 cambian a un color fucsia-morado. Este cambio muestra cuál es la profundidad de carbonatación dentro de la masa de concreto.

Se aplicó la prueba de carbonatación en 10 puntos diferentes comprendidos entre pilas y vigas de cada calzada.

### 3.2.3. Prueba del esclerómetro

Para realizar esta prueba se escogieron 16 puntos comprendidos entre vigas y pilas. Cada punto con un área de 30 x 30 cm y se tomaron 10 lecturas, cada lectura con una distancia de 5 cm descartando los valores que diferían de más de 6 unidades de la mediana. Se tuvo en cuenta que las superficies fueran lisas y se realizaron en los mismos elementos estructurales donde se realizaron las pruebas de carbonatación. (Imagen 21)



**Imagen 21.** Prueba Del Esclerómetro.

#### 3.2.4. Prueba del pachómetro

Con el fin de conocer la distancia de recubrimiento se realizó la prueba con el pachómetro (Ferros scanner). Aunque se contaba con los planos estructurales el objetivo fue verificar que se cumplió con el recubrimiento establecido en el diseño al momento de la construcción del puente ROMERO AGUIRRE. Al igual que los demás ensayos no destructivos, éste se realizó en los mismos elementos donde se realizaron los ensayos del esclerómetro y la fenolftaleína. (Imagen 22)



**Imagen 22.** Prueba del pachómetro.

#### 3.2.5. Aforos vehiculares

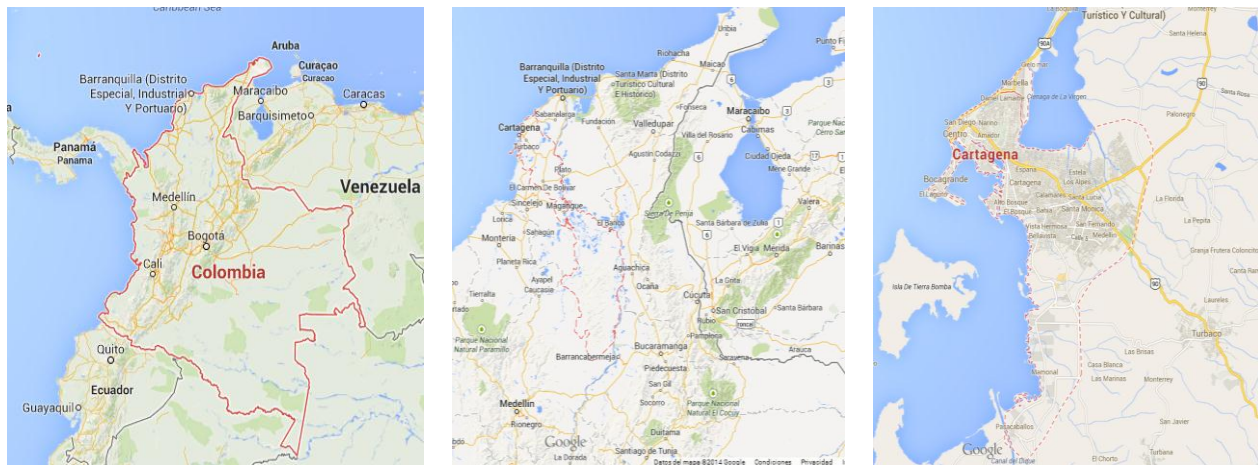
Se realizaron aforos vehiculares con el fin de determinar el flujo al cual es sometido el puente, estos aforos se realizaron en hora pico y hora valle, teniendo en cuenta un día de la semana y un día de fin de semana para determinar si el flujo vehicular tiene efecto en los daños presentados en la vía y demás componentes del puente.

## 4. ALCANCE

### 4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

Cartagena está localizada en el norte del departamento de Bolívar a orillas del mar Caribe. Se encuentra a  $10^{\circ} 25' 30''$  latitud norte y  $75^{\circ} 32' 25''$  de longitud oeste.

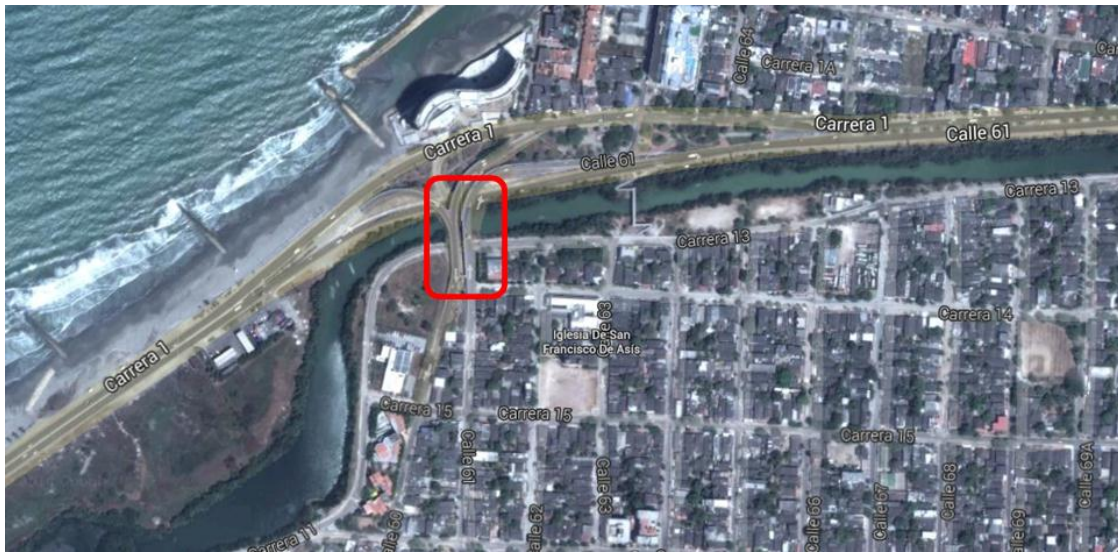
Cartagena limita al oriente con los municipios de Santa Catalina, Clemencia, Santa Rosa, Turbaco y Turbaná; al norte y al occidente con el mar Caribe; y al sur con el municipio de Arjona.



**Imagen 23.** Localización de la ciudad de Cartagena de Indias.

**Fuente:** Google Maps 2014

Este trabajo tuvo como objeto el puente Romero Aguirre, localizado entre los barrios Crespo y Canapote en la zona norte de la ciudad.



**Imagen 24.** Localización del puente Romero Aguirre.

**Fuente:** Google Maps 2014

## 4.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El proyecto se llevó a cabo durante el segundo semestre del año 2014, iniciando en el mes de Agosto y finalizando en el mes de noviembre, la duración del proyecto difiere del tiempo presentado en la propuesta de grado debido a retrasos en la realización de algunas actividades planteadas.

## 4.3. ALCANCE DEL PROYECTO

La evaluación, diagnóstico patológico y propuestas de intervención del puente Romero Aguirre comprende la identificación de los daños presentes en el puente, proponiendo alternativas para su reparación o rehabilitación. Se reconocerán y describirán los problemas que presenta el puente.

Este estudio se realizó mediante inspección visual detallada y ensayos no destructivos como la prueba de carbonatación, esclerómetro y pachómetro, los cuales se realizaron en puntos seleccionados del puente, estos permitieron identificar las áreas afectadas y evaluar los niveles de daño, caracterizarlos y realizar un mapa de localización de cada uno de estos.

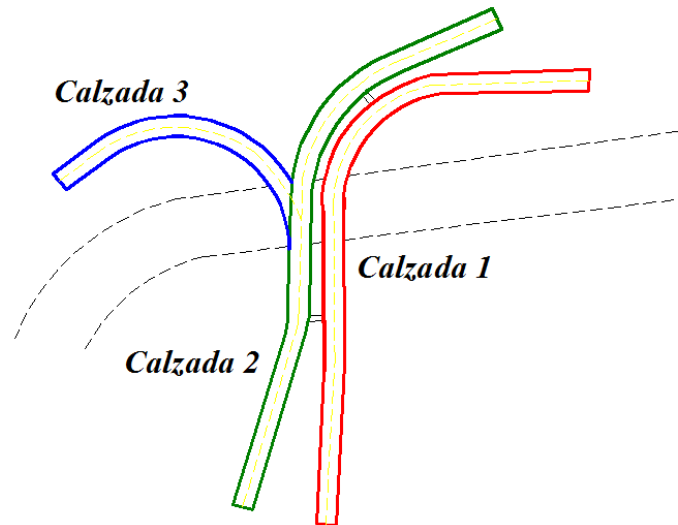
Este estudio se limitó a un trabajo descriptivo, en el cual se determinó la ubicación y características de las patologías, se identificó cualitativamente la vulnerabilidad del puente y con esto se propusieron medidas de intervención.

Los resultados obtenidos de este proyecto servirán como base para futuras investigaciones que impliquen patología estructural de los puentes de la ciudad, ya que hasta el momento no se han realizado este tipo de estudios relacionados con la evaluación, diagnóstico patológico y propuestas de intervención de los puentes en la ciudad.



## 5. RESULTADOS

Para analizar los resultados se implementó una zonificación del puente ROMERO AGUIRRE, ubicando en cada zona los problemas presentes en él.



**Imagen 25.** División por calzadas del puente Romero Aguirre.

### 5.1. DESCRIPCIÓN Y PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL PUENTE ROMERO AGUIRRE.

La estructura del puente está compuesta por un sistema de pilas, separadas entre sí a una distancia máxima de 30 metros, una viga central de la cual se empotran viguetas. El sistema de vigas es considerada una viga T. Se considera un puente hiperestático ya que se caracteriza por la unión sobre apoyos consiguiendo un funcionamiento continuo en sentido longitudinal. El puente consta de 3 calzadas, cada una con dos carriles en un solo sentido, además cuenta con dos accesos peatonales por medio de escaleras y sus respectivas barandas.

#### 5.1.1. Escaleras

El puente Romero Aguirre cuenta con dos accesos peatonales, estos dos sistemas de escaleras presentan gran deterioro, uno de estos accesos ubicado en el barrio Crespo no presenta barandas de seguridad lo que representa un peligro para los peatones.

El acceso ubicado en el barrio Canapote presenta un gran deterioro, desde el desprendimiento y oxidación de sus barandas hasta exposición del acero y desprendimiento del material.

**Cuadro 1.** Recuento fotográfico No. 1

		
		
<p><b>Recuento fotográfico No. 1.</b> Falta de barandas de protección en las escaleras.</p>		
<p>Cindy Alejandra Contreras Pérez</p>	<p>Erika De Jesús Reyes Ravelo</p>	
 <p>UNIVERSIDAD DE CARTAGENA</p>	<p><b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b></p>	 <p>FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>

**Cuadro 2.** Recuento fotográfico No. 2

		
		
<p align="center"><b>Recuento fotográfico No. 2.</b> Oxidación de barandas de las escaleras.</p>		
<p align="center">Cindy Alejandra Contreras Pérez</p>	<p align="center">Erika De Jesús Reyes Ravelo</p>	
 <p>UNIVERSIDAD DE CARTAGENA</p>	<p align="center"><b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b></p>	 <p>FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>

### 5.1.2. Barandas

Las barandas son sistemas cuya función primordial es retener y redireccionar los vehículos que se salen fuera del control de la vía, también para proteger al peatón de caer del puente. Sin embargo esta función se ve afectada cuando estos elementos están deteriorados. Las barandas del puente Romero Aguirre tienen un área de 775.44 m<sup>2</sup> aproximadamente y

presentan notables y significantes daños entre los cuales están: Descascaramiento, exposición del acero, fisuras y grietas. Estos daños representan alrededor del 3,2% del total de daños en todo el puente.

**Cuadro 3.** Recuento fotográfico No. 3

		
		
<p><b>Recuento fotográfico No. 3. Exposición de acero en barandas.</b></p>		
<p>Cindy Alejandra Contreras Pérez</p>	<p>Erika De Jesús Reyes Ravelo</p>	
 <p>UNIVERSIDAD DE CARTAGENA</p>	<p><b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b></p>	 <p>FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>

### 5.1.3. Andenes

Estas superficies pavimentadas son para el uso de peatones, situadas en ambos extremos de la vía. Al ser un elemento importante para el tránsito del peatón, debe estar en buenas condiciones para evitar accidentes automovilísticos y protección de las personas.

**Cuadro 4.** Recuento fotográfico No. 4

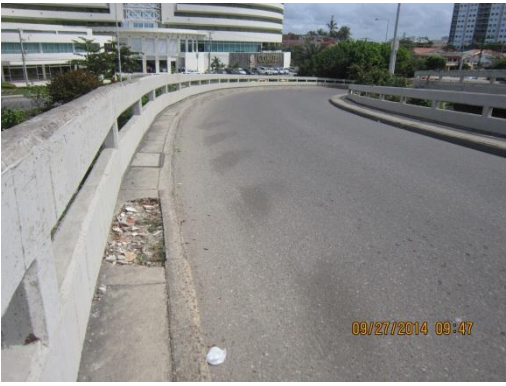




		
		
<p><b>Recuento fotográfico No. 4.</b> Daños en los andenes y bordillos.</p>		
<p>Cindy Alejandra Contreras Pérez</p>	<p>Erika De Jesús Reyes Ravelo</p>	
 <p>UNIVERSIDAD DE CARTAGENA</p>	<p><b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b></p>	 <p>FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>

Los andenes tienen un área aproximada de 778.53 m<sup>2</sup> dentro de los cuales un 9,5% se encuentra en estado de deterioro presentando daños como desportillamiento, grietas, fisuras, perdida de material, acero a la vista, crecimiento de vegetación, entre otros.

#### 5.1.4. Capa de rodadura

Ante un deterioro en las diferentes vías del puente Romero Aguirre en el año 2010 se realizó una recuperación de la capa asfáltica la cual se encontraba deteriorada debido al tránsito pesado de automotores. Con estos trabajos realizados, al momento de la inspección visual no se encontraron fallas significantes en la vía, por lo cual no se registraron daños en esta evaluación de las 3 calzadas que componen la estructura.

**Cuadro 5.** Recuento fotográfico No. 5

		
		
<p><b>Recuento fotográfico No. 5. Vista de la capa de rodadura.</b></p>		
<p>Cindy Alejandra Contreras Pérez</p>	<p>Erika De Jesús Reyes Ravelo</p>	
 <p>UNIVERSIDAD DE CARTAGENA</p>	<p><b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b></p>	 <p>FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>

El puente Puento Romero Aguirre cuenta con una longitud aproximada de 530 metros en sus tres calzadas.

### 5.1.5. Vigas centrales en concreto

Estos elementos estructurales con dimensiones de 2 x 1,7 metros, ubicados en el centro de la superestructura solo presentaron daños en un punto en el que se aprecia exposición del acero de refuerzo y oxidación.

**Cuadro 6.** Recuento fotográfico No. 6

		
		
<p><b>Recuento fotográfico No. 6.</b> Daños presentes en las vigas.</p>		
<p>Cindy Alejandra Contreras Pérez</p>	<p>Erika De Jesús Reyes Ravelo</p>	
 <p>UNIVERSIDAD DE CARTAGENA</p>	<p><b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b></p>	 <p>FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>

Sin embargo aumentaron su resistencia según los ensayos con el esclerómetro y la prueba de fenoltaleína no superó los 3 cm de profundidad de carbonatación.

### 5.1.6. Sistema de pilas

Al igual que las vigas, las pilas cuyo diámetro son de 2 metros y altura variante solo presentaron daños en un punto de una pila en el que se aprecia exposición del acero de refuerzo

**Cuadro 7.** Recuento fotográfico No. 7

		
		
<p><b>Recuento fotográfico No. 7. Sistema de pilas.</b></p>		
<p>Cindy Alejandra Contreras Pérez</p>	<p>Erika De Jesús Reyes Ravelo</p>	
 <p>UNIVERSIDAD DE CARTAGENA</p>	<p><b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b></p>	 <p>FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p>



También aumentaron su resistencia según los ensayos con el esclerómetro y la prueba de fenolftaleína no superó los 3 cm de profundidad de carbonatación.

## 5.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

### 5.2.1. Prueba de carbonatación

En la pila de la calzada 2 (Imagen 26). No se aprecia ninguna reacción en los primeros 3 cm de superficie, luego comenzó a presentar un cambio de color. Este fue el punto donde se presentó mayor profundidad de carbonatación.



**Imagen 26.** Prueba de Carbonatación en Pila de la calzada 3.

En la viga de la calzada 1 también se aplicó la solución de fenolftaleína obteniendo como resultado una profundidad de carbonatación de 1 cm (Imagen 27).



**Imagen 27.** Prueba de Carbonatación en la superficie de la viga de la calzada 1.

Se aplicó esta prueba a las barandas y escaleras y no hubo reacción alguna al aplicarle la fenolftaleína. (Imagen 28, Imagen 29)



**Imagen 28.** Prueba de Carbonatación en Barandas.

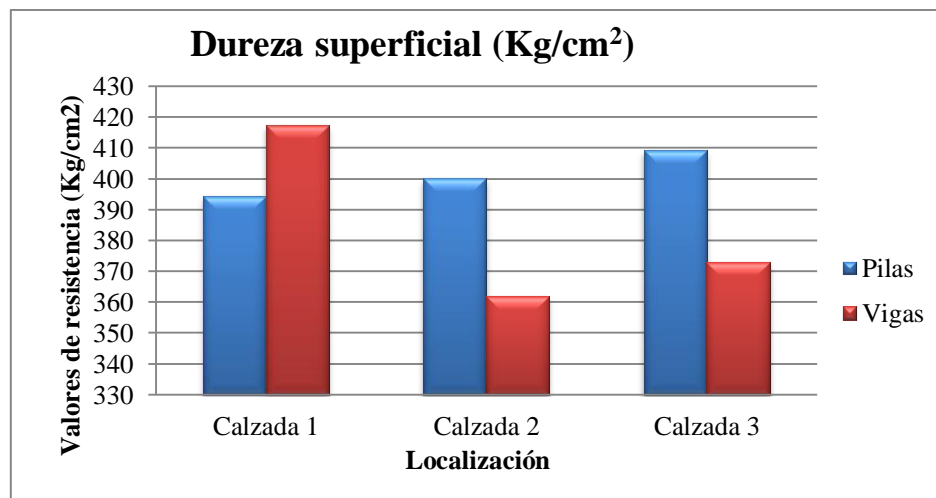


**Imagen 29.** Prueba de Carbonatación en Escaleras.

### 5.2.2. Prueba del esclerómetro.

Se realizó el ensayo a pilas y vigas del puente Romero Aguirre, teniendo en cuenta la metodología planteada anteriormente. Se tomaron 10 golpes en cada punto del elemento descartando las lecturas que diferían de 6 unidades de la mediana, obteniendo el promedio de cada prueba.

De los valores de dureza que arrojó el esclerómetro en cada prueba, se pudo obtener el valor de la resistencia del hormigón. Estos datos se muestran en la siguiente gráfica de referencia:



**Gráfico 1.** Resistencia superficial del concreto.

Teniendo en cuenta la información de planos, se tiene que el  $f'_c = 5000 \text{ PSI}$ . De los resultados obtenidos para la prueba con el esclerómetro se aprecia que la resistencia aumentó de 5000 PSI a 5900 PSI aproximadamente según los resultados arrojados en el ensayo.

### 5.2.3. Pachómetro

Se realizó la prueba del pachómetro con el fin de verificar el recubrimiento de los elementos estructurales tales como las vigas y las pilas de cada calzada donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 1.** Valores obtenidos en la prueba de pachómetro.

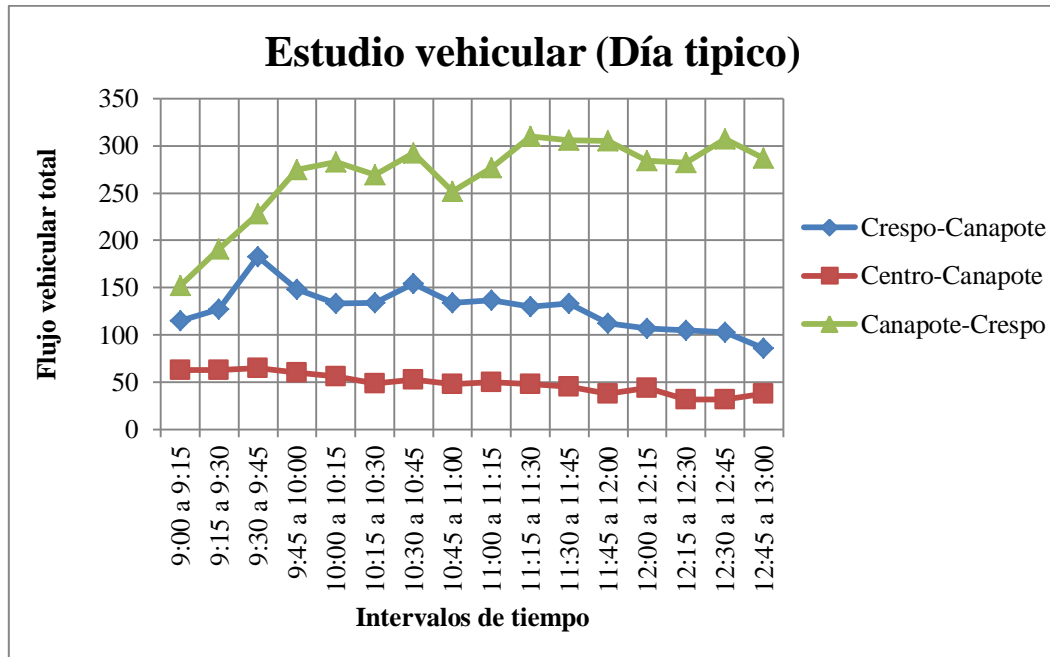
ELEMENTO		DISTANCIA DE RECUBRIAMIENTO
Vigas	Calzada 1	5,5 cm
	Calzada 2	4,7 cm
	Calzada 3	4,9 cm
Pilas	Calzada 1	5,7 cm
	Calzada 2	5,5 cm
	Calzada 3	6,5 cm

### 5.3. AFORO VEHICULAR

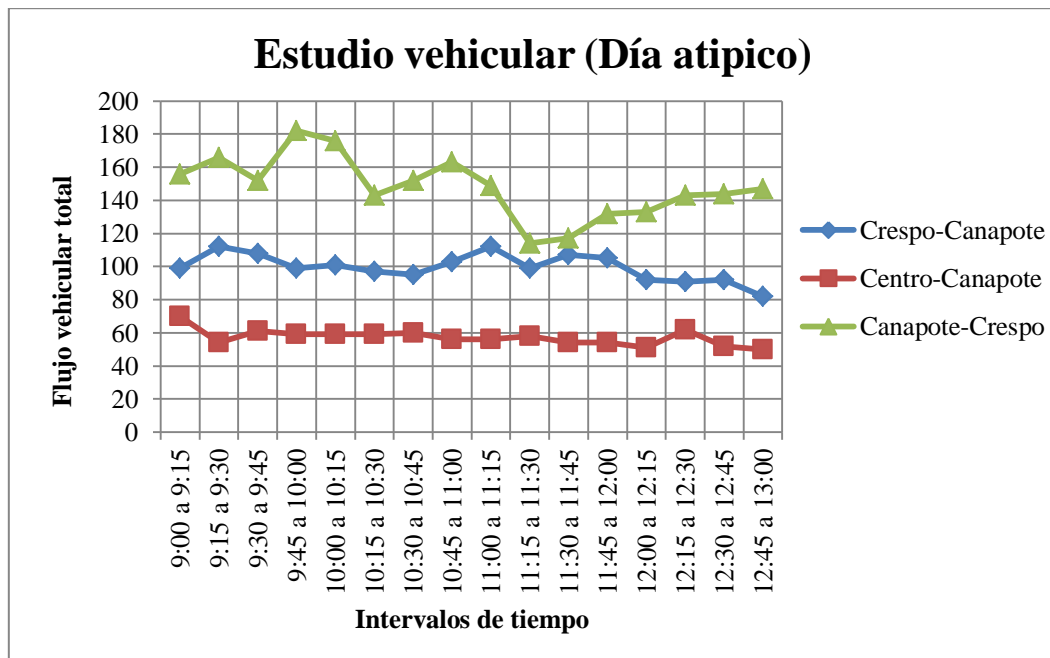
El puente ROMERO AGUIRRE consta de 3 calzadas, cada una con sentidos como se indica a continuación:

- Calzada 1: Canapote - Crespo
- Calzada 2: Crespo – Canapote
- Calzada 3: Centro – Canapote

Se realizó aforo vehicular a cada sentido un día de la semana (Día típico) y un sábado (Día atípico) teniendo en cuenta el flujo de vehículos como motos, buses, automóviles y camiones cuyos resultados se relacionan en los Gráfico 2 y Gráfico 3.

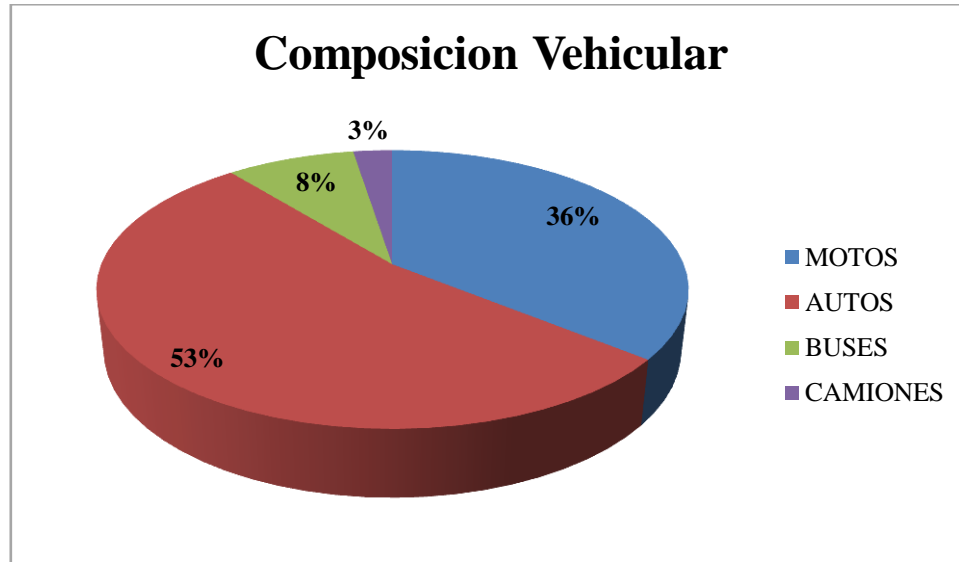


**Gráfico 2.** Estudio Vehicular (Día típico)



**Gráfico 3.** Estudio Vehicular (Día Atípico).

Se realizó una caracterización de los vehículos para determinar la composición vehicular presente en el puente Romero Aguirre.



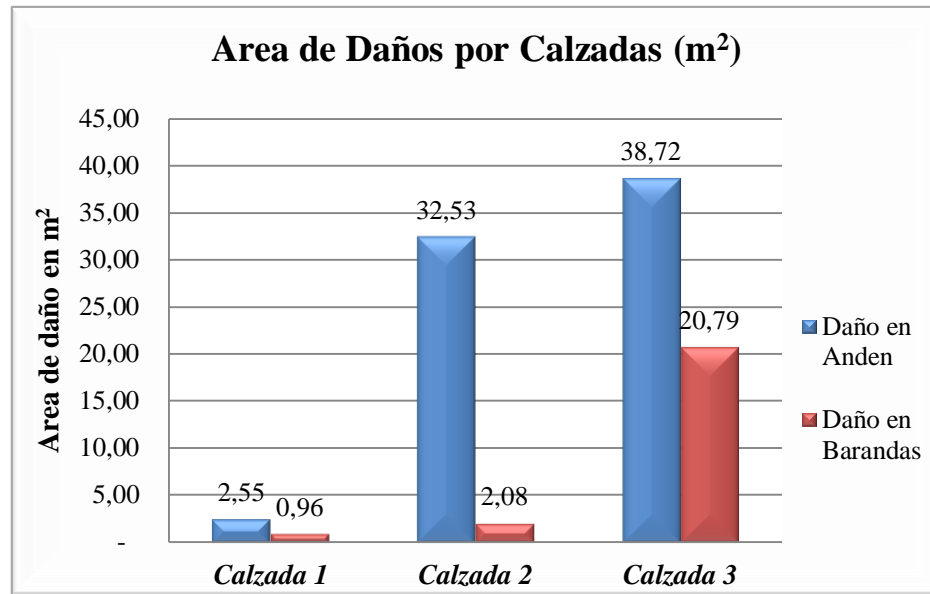
**Gráfico 4.** Composición vehicular en el Puente Romero Aguirre.

En la gráfica anterior se observa que el mayor porcentaje de vehículos lo presentan las automóviles y el menor porcentaje los camiones, lo cual nos indica que el puente Romero Aguirre no está sometido a cargas vehiculares elevadas.

#### 5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el área de los daños se tomaron los andenes y barandas, ya que en estos elementos se presentan los mayores daños, mientras que en las pilas y vigas se considera el área de daños insignificantes con respecto al área total de estos elementos.

En las siguientes gráficas se muestran como están distribuidos los daños en las barandas y en los andenes en cada una de las calzadas.

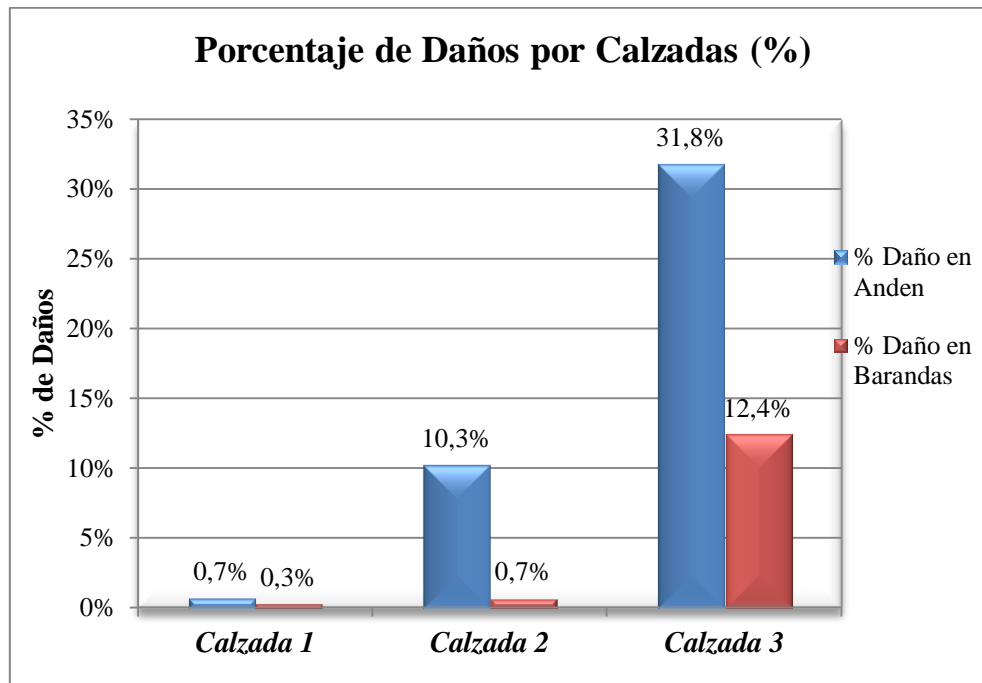


**Gráfico 5.** Área de daños en Andenes y Barandas.

Las barandas cuentan con un área total aproximada de 300.73 m<sup>2</sup>, 285.86 m<sup>2</sup> y 167.15 m<sup>2</sup> en la calzada 1, calzada 2 y calzada 3 respectivamente.

Los andenes cuentan con un área total aproximada de 340.53 m<sup>2</sup>, 316.20 m<sup>2</sup> y 121.8 m<sup>2</sup> en la calzada 1, calzada 2 y calzada 3 respectivamente.

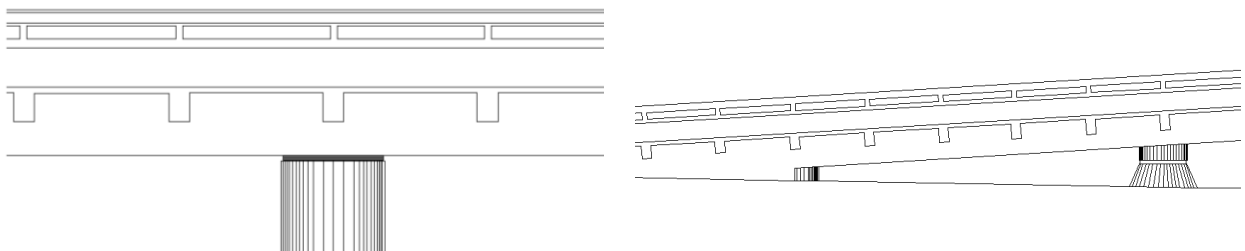
A partir de los datos anteriores se obtuvieron los siguientes resultados.



**Gráfico 6.** Porcentaje de daños en Andenes y Barandas.

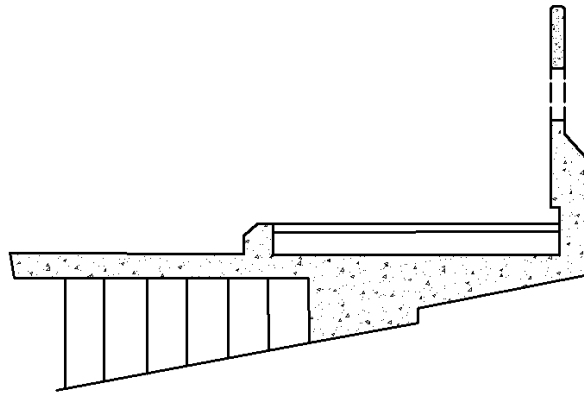
A partir de la información obtenida en este estudios se tomó un orden de acuerdo a la gravedad de los daños encontrados: barandas, andén, vigas y pilas. Pero este orden se tuvo en cuenta para cada una de las tres calzadas.

A continuación se presentan los planos para presentar las patologías en cada elemento del puente Romero Aguirre.

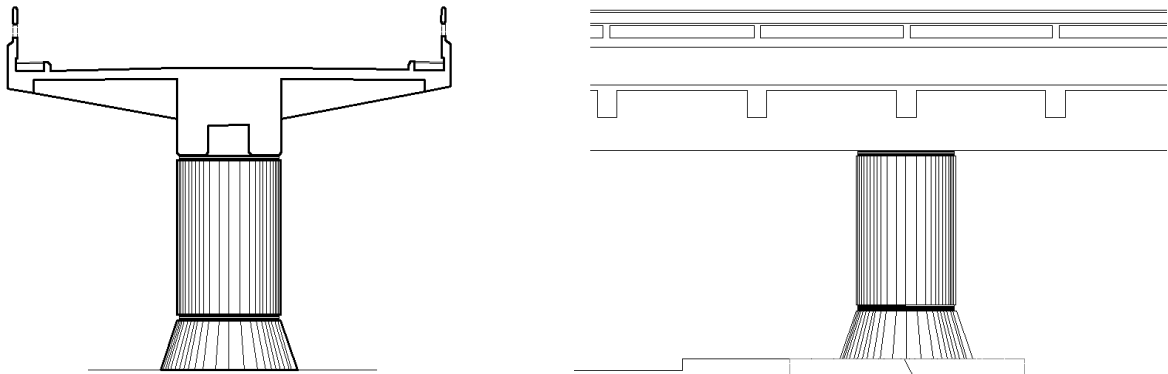


**Imagen 30.** Plano mapeo de patologías de las barandas.

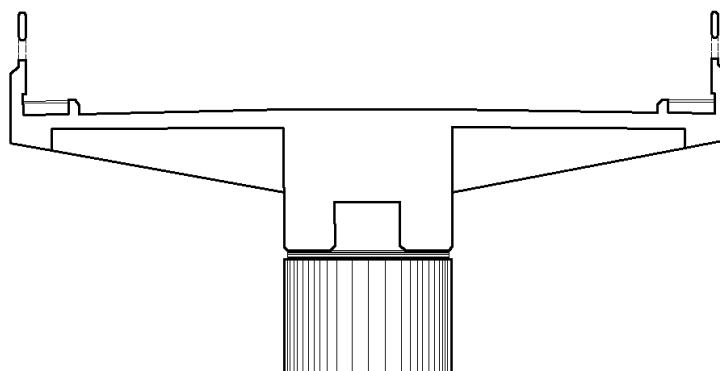




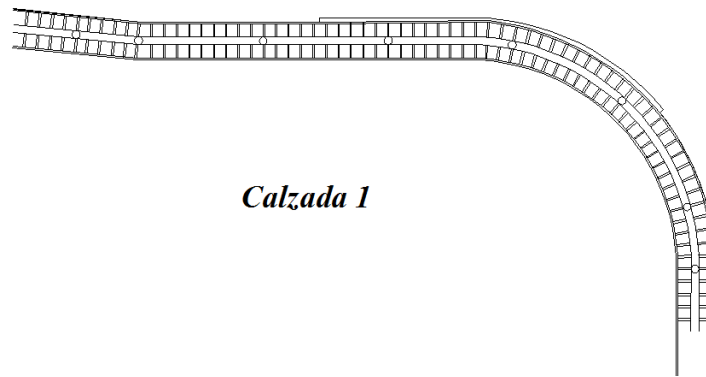
**Imagen 31.** Plano mapeo de patologías de las Andén.



**Imagen 32.** Plano mapeo de patologías de las Pilas.

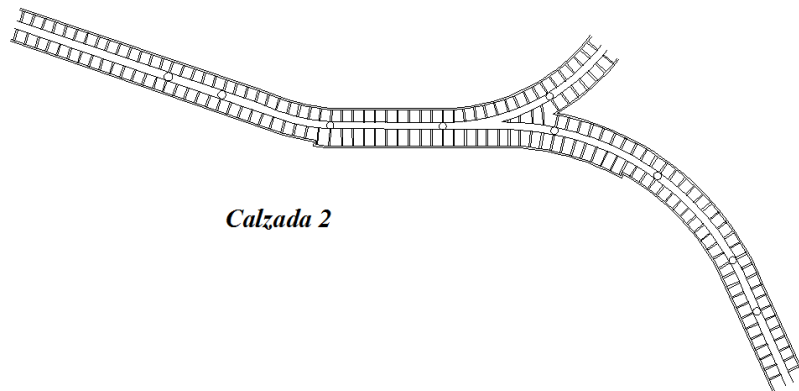


**Imagen 33.** Plano mapeo de patologías de las Vigas.



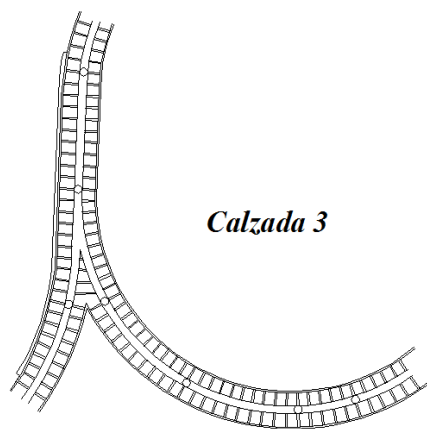
*Calzada 1*

**Imagen 34.** Plano mapeo de patologías de la Calzada 1.



*Calzada 2*



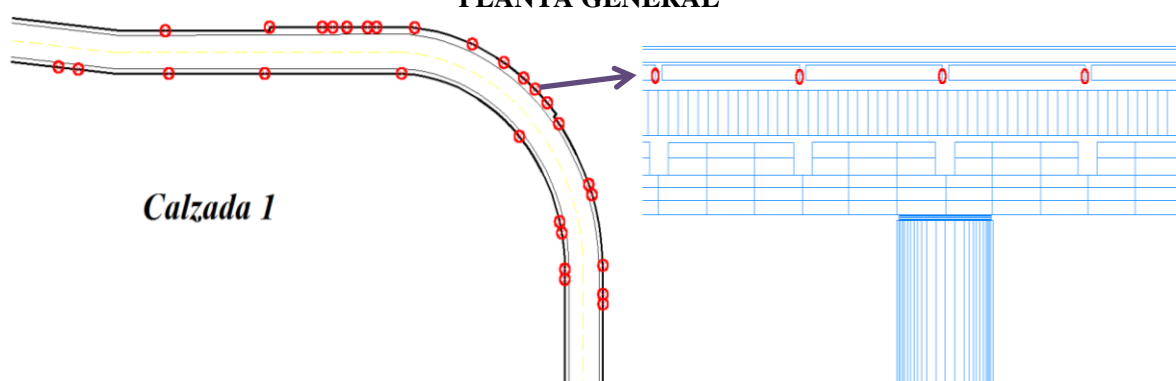


**Imagen 35.** Plano mapeo de patologías de la Calzada 2.





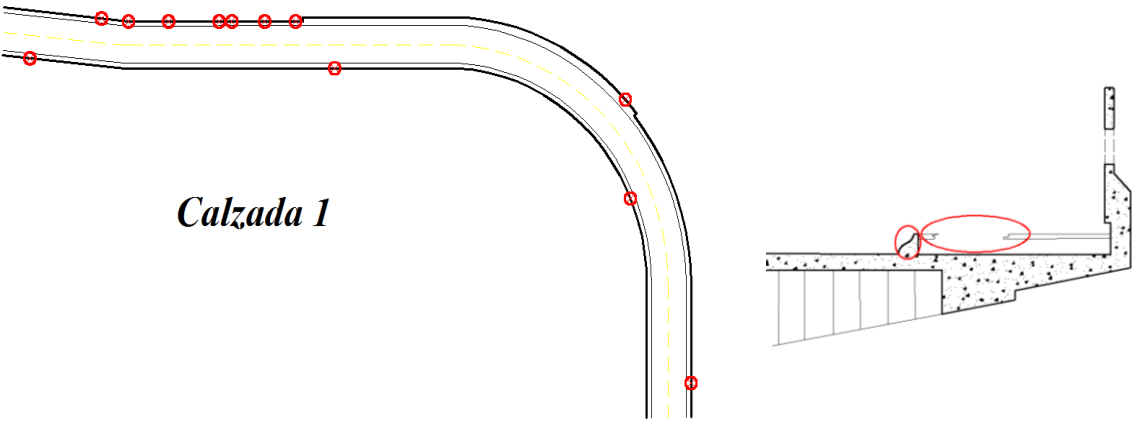


*Calzada 3*

**Imagen 36.** Plano mapeo de patologías de la Calzada 3.



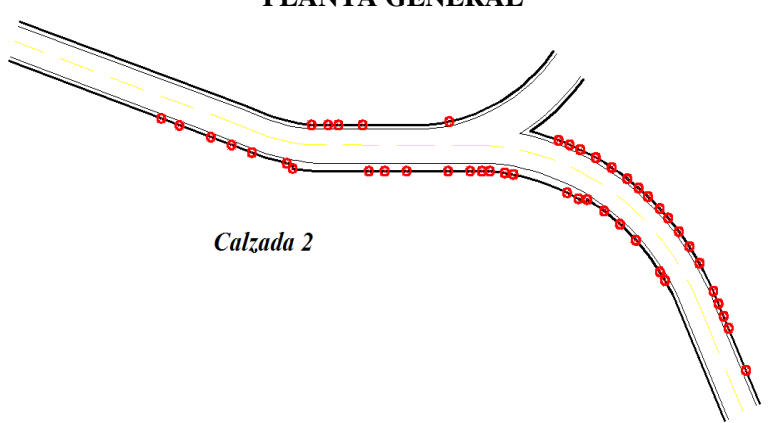


Cuadro 8. Ficha patológica 01.

		<b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>			
<b>AUTORES</b>		CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO		<b>DIRECTOR</b>	
				ING. WALBERTO RIVERA	
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>					
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Barandas		
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 1		
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado		
<b>PLANTA GENERAL</b>					
					
<b>VALORACION VISUAL</b>			<b>FOTOGRAFIAS</b>		
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD				
	FUNCIONALIDAD				
	ASPECTO	X			
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE				
	NECESARIA	X			
	CONVENIENTE				
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE				
	MODERADO				
	SEVERO	X			
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>					
HUMEDAD					
MANCHAS					
GRIETAS		X			
FISURAS		X			
PERDIDA DE MATERIAL		X			
ASENTAMIENTOS					
EXPOSICION DE ACERO		X			
CORROSION DE LA ARMADURA		X			



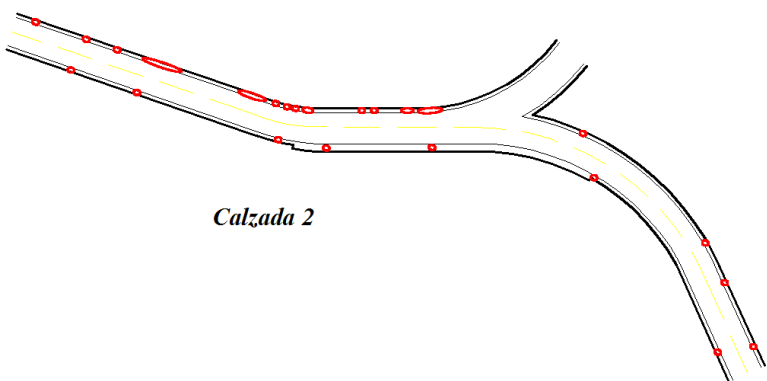


**Cuadro 9.** Ficha patológica 02.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 			
<b>AUTORES</b>	CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>			
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Anden
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 1
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado
<b>PLANTA GENERAL</b>			
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 1</i></p>			
<b>VALORACION VISUAL</b>		<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD	X	
	FUNCIONALIDAD	X	
	ASPECTO	X	
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE	X	
	NECESARIA		
	CONVENIENTE		
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE		
	MODERADO		
	SEVERO	X	
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>			
HUMEDAD			
MANCHAS			
GRIETAS		X	
FISURAS		X	
PERDIDA DE MATERIAL		X	
ASENTAMIENTOS			
EXPOSICION DE ACERO		X	
CORROSION DE LA ARMADURA			
			



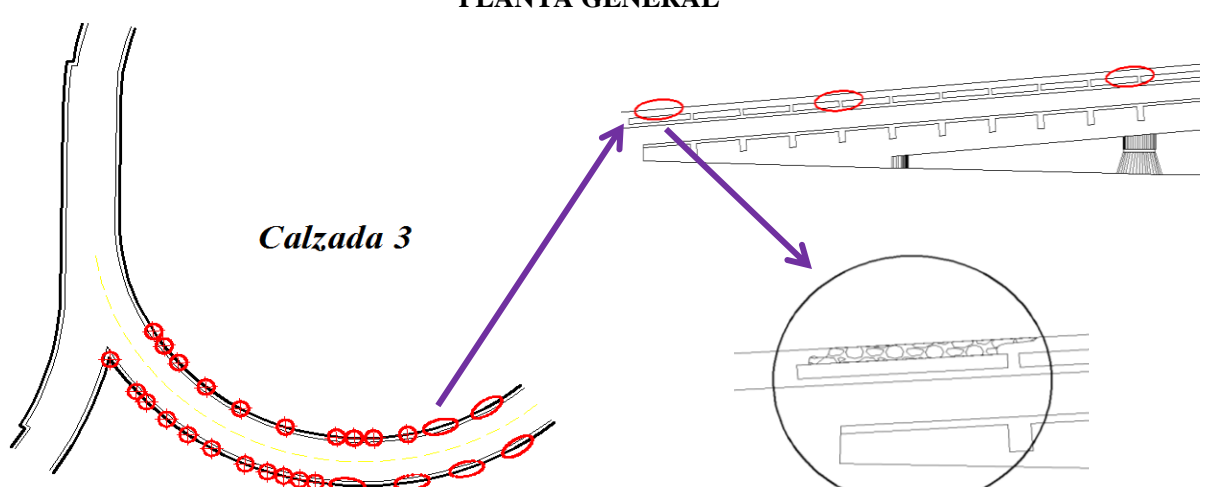


**Cuadro 10.** Ficha patológica 03.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 			
<b>AUTORES</b>	CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>			
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Barandas
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 2
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado
<b>PLANTA GENERAL</b>			
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 2</i></p>			
<b>VALORACION VISUAL</b>		<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD	X	
	FUNCIONALIDAD	X	
	ASPECTO	X	
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE	X	
	NECESARIA		
	CONVENIENTE		
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE		
	MODERADO		
	SEVERO	X	
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>			
HUMEDAD			
MANCHAS			
GRIETAS		X	
FISURAS		X	
PERDIDA DE MATERIAL		X	
ASENTAMIENTOS			
EXPOSICION DE ACERO		X	
CORROSION DE LA ARMADURA		X	



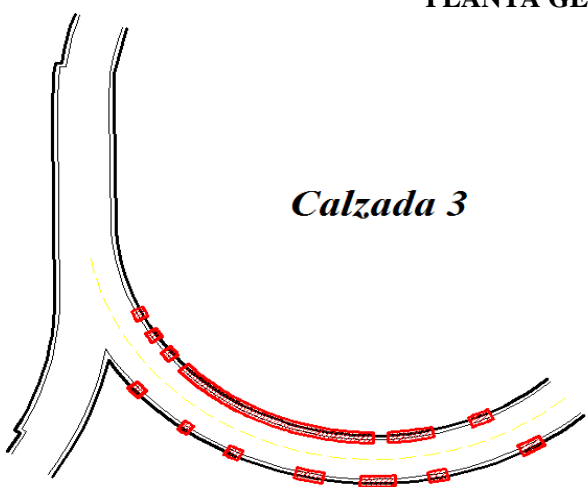
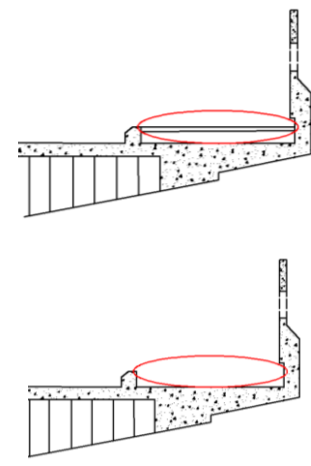


**Cuadro 11.** Ficha patológica 04.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 				
<b>AUTORES</b>		CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>				
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Anden	
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 2	
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado	
<b>PLANTA GENERAL</b>				
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 2</i></p>				
<b>VALORACION VISUAL</b>			<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD	X		
	FUNCIONALIDAD	X		
	ASPECTO	X		
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE	X		
	NECESARIA			
	CONVENIENTE			
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE			
	MODERADO			
	SEVERO	X		
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>				
HUMEDAD				
MANCHAS				
GRIETAS		X		
FISURAS		X		
PERDIDA DE MATERIAL		X		
ASENTAMIENTOS				
EXPOSICION DE ACERO		X		
CORROSION DE LA ARMADURA				

**Cuadro 12.** Ficha patológica 05.



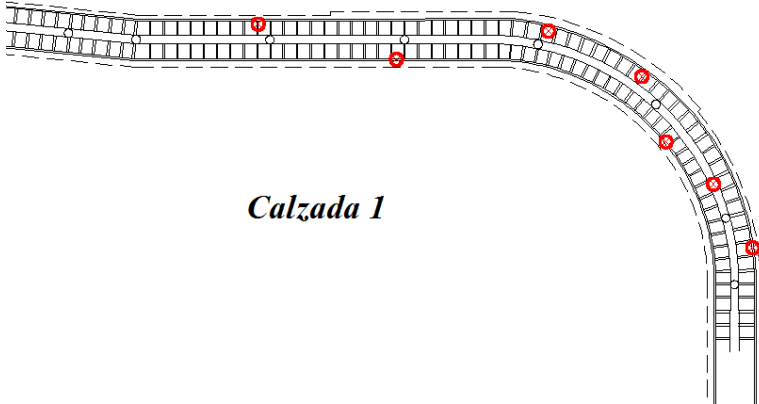


 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 				
<b>AUTORES</b>		CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>				
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Barandas	
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 3	
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado	
<b>PLANTA GENERAL</b>				
				
<b>VALORACION VISUAL</b>			<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD	X		
	FUNCIONALIDAD			
	ASPECTO	X		
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE	X		
	NECESARIA			
	CONVENIENTE			
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE			
	MODERADO			
	SEVERO	X		
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>				
HUMEDAD				
MANCHAS				
GRIETAS		X		
FISURAS		X		
PERDIDA DE MATERIAL		X		
ASENTAMIENTOS				
EXPOSICION DE ACERO		X		
CORROSION DE LA ARMADURA		X		

**Cuadro 13.** Ficha patológica 06.



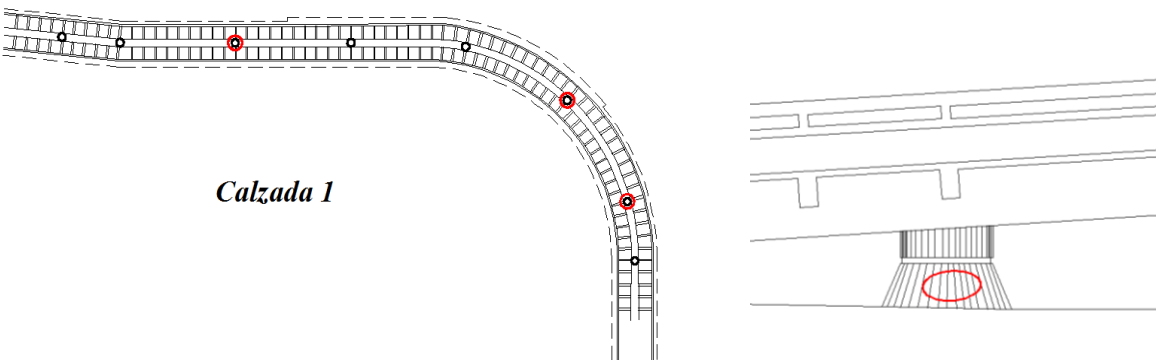


 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 				
<b>AUTORES</b>		CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>				
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Anden	
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 3	
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado	
<b>PLANTA GENERAL</b>				
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 3</i></p> 				
<b>VALORACION VISUAL</b>			<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD	X	 	
	FUNCIONALIDAD	X		
	ASPECTO	X		
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE	X		
	NECESARIA			
	CONVENIENTE			
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE			
	MODERADO			
	SEVERO	X		
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>				
HUMEDAD				
MANCHAS				
GRIETAS		X		
FISURAS		X		
PERDIDA DE MATERIAL		X		
ASENTAMIENTOS				
EXPOSICION DE ACERO		X		
CORROSION DE LA ARMADURA		X		





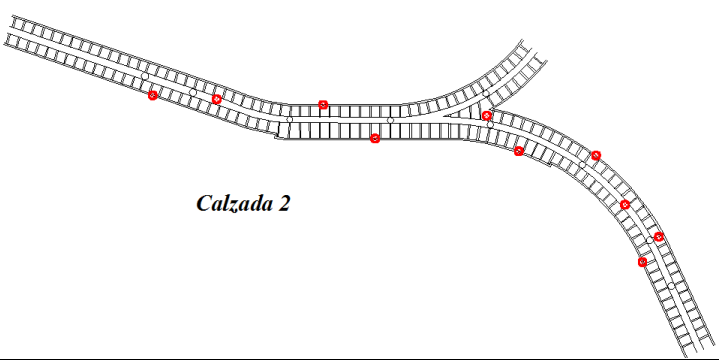
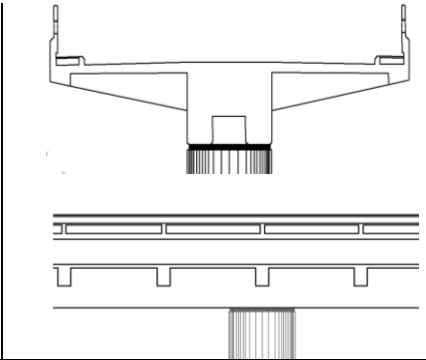


**Cuadro 14.** Ficha patológica 07.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 			
<b>AUTORES</b>	CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>			
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Vigas
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 1
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado
<b>PLANTA GENERAL</b>			
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 1</i></p>			
<b>VALORACION VISUAL</b>		<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD		
	FUNCIONALIDAD		
	ASPECTO	X	
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE		
	NECESARIA		
	CONVENIENTE	X	
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE	X	
	MODERADO		
	SEVERO		
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>			
HUMEDAD	X		
MANCHAS	X		
GRIETAS			
FISURAS	X		
PERDIDA DE MATERIAL	X		
ASENTAMIENTOS			
EXPOSICION DE ACERO			
CORROSION DE LA ARMADURA			



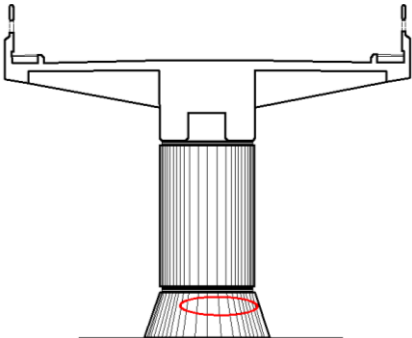
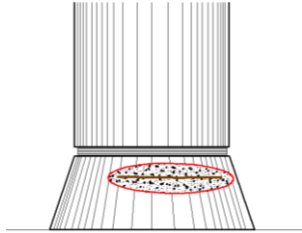


Cuadro 15. Ficha patológica 08.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 				
<b>AUTORES</b>		CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>				
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Pilas	
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 1	
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado	
<b>PLANTA GENERAL</b>				
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 1</i></p>				
<b>VALORACION VISUAL</b>			<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD			
	FUNCIONALIDAD			
	ASPECTO	X		
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE			
	NECESARIA			
	CONVENIENTE	X		
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE	X		
	MODERADO			
	SEVERO			
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>				
HUMEDAD				
MANCHAS		X		
GRIETAS				
FISURAS		X		
PERDIDA DE MATERIAL				
ASENTAMIENTOS				
EXPOSICION DE ACERO				
CORROSION DE LA ARMADURA				



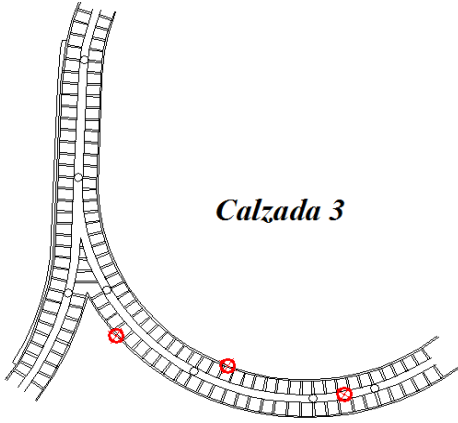
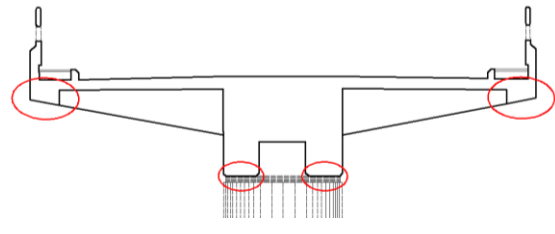


Cuadro 16. Ficha patológica 09.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 				
<b>AUTORES</b>		CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>				
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Vigas	
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 2	
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado	
<b>PLANTA GENERAL</b>				
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 2</i></p>				
<b>VALORACION VISUAL</b>			<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD			
	FUNCIONALIDAD			
	ASPECTO	X		
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE			
	NECESARIA			
	CONVENIENTE	X		
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE	X		
	MODERADO			
	SEVERO			
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>				
HUMEDAD				
MANCHAS		X		
GRIETAS				
FISURAS				
PERDIDA DE MATERIAL				
ASENTAMIENTOS				
EXPOSICION DE ACERO				
CORROSION DE LA ARMADURA				



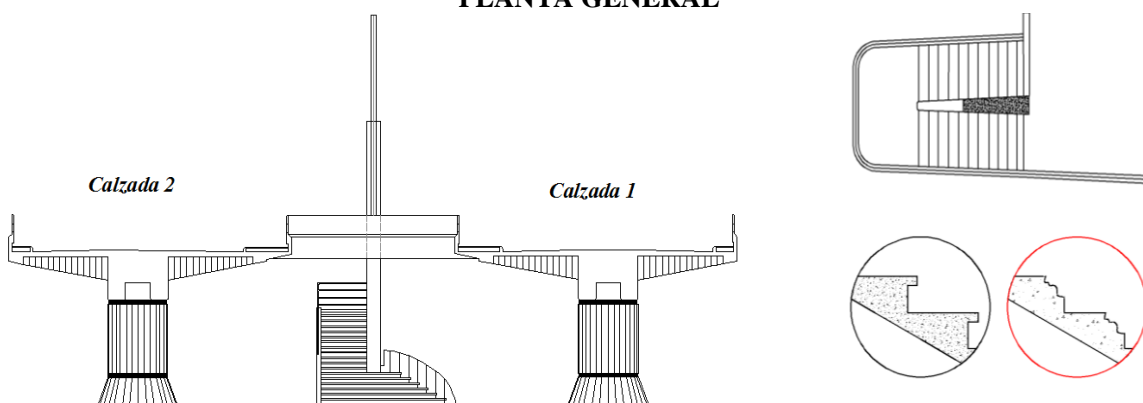



Cuadro 17. Ficha patológica 10.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 				
<b>AUTORES</b>		CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>				
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Pilas	
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 2	
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado	
<b>PLANTA GENERAL</b>				
				
<b>VALORACION VISUAL</b>			<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD			
	FUNCIONALIDAD			
	ASPECTO	X		
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESCINDIBLE			
	NECESARIA	X		
	CONVENIENTE			
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE			
	MODERADO			
	SEVERO	X		
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>				
HUMEDAD				
MANCHAS		X		
GRIETAS		X		
FISURAS		X		
PERDIDA DE MATERIAL				
ASENTAMIENTOS				
EXPOSICION DE ACERO		X		
CORROSION DE LA ARMADURA		X		

**Cuadro 18.** Ficha patológica 11.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 			
<b>AUTORES</b>	CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>			
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Vigas
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 3
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado
<b>PLANTA GENERAL</b>			
 <p style="text-align: center;"><i>Calzada 3</i></p>			
<b>VALORACION VISUAL</b>		<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD		
	FUNCIONALIDAD		
	ASPECTO	X	
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE		
	NECESARIA	X	
	CONVENIENTE		
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE		
	MODERADO		
	SEVERO	X	
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>			
HUMEDAD			
MANCHAS			
GRIETAS		X	
FISURAS		X	
PERDIDA DE MATERIAL			
ASENTAMIENTOS			
EXPOSICION DE ACERO		X	
CORROSION DE LA ARMADURA		X	

Cuadro 19. Ficha patológica 12.

 <b>EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE</b> 			
<b>AUTORES</b>	CINDY ALEJANDRA CONTRERAS PEREZ ERIKA DE JESUS REYES RAVELO	<b>DIRECTOR</b>	ING. WALBERTO RIVERA
<b>PUENTE ROMERO AGUIRRE</b>			
<b>Departamento</b>	Bolívar	<b>Elemento</b>	Escaleras
<b>Ciudad</b>	Cartagena	<b>Ubicación</b>	Calzada 1- Calzada 2
<b>Fecha</b>		<b>Materiales</b>	Concreto reforzado
<b>PLANTA GENERAL</b>			
			
<b>VALORACION VISUAL</b>		<b>FOTOGRAFIAS</b>	
<b>AFECTACION DE DAÑOS</b>	SEGURIDAD	X	
	FUNCIONALIDAD	X	
	ASPECTO	X	
<b>NIVEL DE RECUPERACION</b>	IMPRESINDIBLE	X	
	NECESARIA		
	CONVENIENTE		
<b>NIVEL DE DAÑOS</b>	LEVE		
	MODERADO		
	SEVERO	X	
<b>LESIONES ENCONTRADAS</b>		 	
HUMEDAD			
MANCHAS	X		
GRIETAS	X		
FISURAS	X		
PERDIDA DE MATERIAL	X		
ASENTAMIENTOS			
EXPOSICION DE ACERO	X		
CORROSION DE LA ARMADURA	X		

Los puentes de la ciudad de Cartagena no han sido sometidos a estudios detallados del estado patológico, por tanto no es posible realizar una comparación de éste trabajo de investigación con estudios previos relacionados con el puente ROMEROAGUIRRE.

## **5.5. PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN**

Según lo planteado en el análisis y siguiendo la jerarquía planteada en el mismo, se proponen las siguientes medidas de mitigación para los componentes del puente Romero Aguirre.

### **5.5.1. Capa de rodadura**

Debido a los trabajos realizados recientemente en la capa de rodadura, las vías del puente Romero Aguirre no presenta daños, por tanto no requiere de ninguna medida de rehabilitación.

### **5.5.2. Barandas**

En la estructura se evidencia daños como corrosión de barandas que han generado desde grietas hasta pérdida total del concreto, es requerido el reemplazo total de estos elementos en las calzadas 2 y 3 los cuales representan mayor daño. A pesar que los daños que presentan las barandas en la calzada 2 es mínimo se recomienda su reemplazo total.

### **5.5.3. Andenes y Bordillos**

Los bordillos de la estructura presentan desportillamiento, donde también se encuentra acero expuesto y corrosión del mismo, fisuras, grietas, además presentan crecimiento de vegetación, por lo tanto es necesario la destrucción y reemplazo de la longitud afectada más 1 metro de cada lado para garantizar que la corrosión no siga avanzando en áreas no visibles.

### **5.5.4. Pilas**

En el sistema de pilas del puente cuentan con un nivel de severidad de daños leve, en una sola pila de la calzada 1 se evidencia la exposición de acero de refuerzo y corrosión del mismo, además presentan fisuras no mayores a 1 mm. En este caso es requerido el reemplazo de la zona para garantizar la rehabilitación. Es necesario realizar después de esta intervención mantenimiento periódico.

En la mayoría de las pilas se puede evidenciar que son utilizadas para colocar propaganda, razón por la cual no es posible evidenciar daños a simple vista. Por lo tanto es necesario que sean sometidas a limpieza.

#### **5.5.5. Vigas**

Al realizar la inspección se encontraron varios puntos donde se presentaban daños en este elemento. El daño encontrado fue corrosión del acero el cual pudo ser ocasionado por agentes agresivos del ambiente impregnados en la estructura, por lo que se encuentra ubicada cerca al mar y salva un caño. Por tanto, se toman medidas de corrección como sigue:

- Eliminar cuidadosamente el concreto afectado y los productos de la corrosión, limpiando bien las superficies.
- Reconstruir la sección original del acero de refuerzo.
- Ante la presencia de agentes agresivos se debe efectuar la corrección colocando una barrera de resina epóxica entre en concreto contaminado y el mortero de reparación.

#### **5.5.6. Accesos peatonales**

Las escaleras para acceso peatonales presentan desportillamiento, falta de barandas de protección y corrosión de las barandas existentes, por lo cual es necesario el reemplazo de las barandas de protección además reparación de los escalones y pintar estos accesos ya que presentan grafitis.

#### **5.5.7. Recomendaciones adicionales**

Se recomienda realizar una limpieza en la zona donde están ubicadas las tuberías para los drenajes, ya que en el sitio se encuentran obstaculizados por basura.

Además en las zonas de acceso vehicular se evidencia acumulación de basura, escombros, por lo que se recomienda realizar una limpieza en la zona debajo del puente.



## 5.6. CAUSAS DEL DETERIORO DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE

### 5.6.1. Andenes y bordillos

- Hormigueros en el concreto combinado con aceros expuestos, producto de deficiencias en su proceso constructivo y/o mal diseño.
- Grietas estructurales. Muchas veces estas fallas estructurales pueden estar asociadas al impacto de los vehículos
- Grietas no estructurales producidas por contracción, retracción de fraguado, etc.
- Daños por deficiencias en la durabilidad del concreto, producida en algunos casos por carbonatación (baja de pH), sulfatos, materia orgánica y cloruros.
- Aceros expuestos acompañados con óxido e indicios de corrosión.

### 5.6.2. Barandas

- Impactos producidos por accidentes de camiones y vehículos, que afectan a cualquier tipo de baranda (acero, concreto, mixta, etc.).
- Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros y aceros expuestos de los componentes de las barandas en concreto.
- Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida por carbonatación o baja de pH. Esto genera que su recubrimiento no logre proteger el acero de refuerzo y lo hace vulnerable a fenómenos de corrosión. También su deterioro se puede deber a un alto contenido de sulfatos y cloruros en puentes construidos en zonas costeras (especialmente). Esto se refleja a través de grietas no estructurales o cambios de color cerca donde hayan indicios de humedad.
- Acumulación de maleza o basura, que afectan la durabilidad de los materiales de la baranda.

### 5.6.3. Deterioro de pilas

- Deficiencia estructural que no permite que la pila este en la capacidad de soportar las cargas sísmicas ni las cargas verticales provenientes de la superestructura del puente. Esto se evidencia por la presencia de grietas a flexión y a cortante.

- Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros y aceros expuestos en la pila.
- Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida por carbonatación o baja de pH. Esto genera que el recubrimiento del concreto no proteja adecuadamente el acero de refuerzo generando 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, (Zonas costeras especialmente). Esto se refleja a través de grietas no estructurales o cambios de color cerca donde hayan indicios de humedad.

#### 5.6.4. Vigas

- Grietas de cortante, tensión, flexión y torsión, causadas por la insuficiente capacidad de carga de las vigas.
- 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).
- Falta de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, debido al mal detallado estructural (falta de ganchos, traslapos mal ubicados, aceros de refuerzo lisos, etc.). Esto se identifica por fisuras longitudinales paralelas al refuerzo de las vigas.
- Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros, segregación y aceros expuestos en la viga.
- 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.
- Deterioro del concreto de las vigas, producido por la inadecuada instalación de los drenes, que hacen que exista infiltración que afecta la durabilidad de estos componentes.

## 5.7. VULNERABILIDAD DEL PUENTE ROMERO AGUIRRE

La vulnerabilidad no es más que la debilidad que presenta una estructura u objeto frente a un evento que representa una peligrosidad, el cual al presentarse le generará daños.

Para estimar la vulnerabilidad de una estructura es necesario estudiar varios parámetros que intervienen en el índice de vulnerabilidad de esta, la evaluación se basa en los materiales de construcción, descripción estructural, intervenciones realizadas a la estructura, entre otros.

La vulnerabilidad del puente Romero Aguirre se estimó partir de la inspección visual, materiales utilizados en la construcción, propiedades de los materiales, estado actual de la estructura y resultados de ensayos no destructivos.

En el puente Romero Aguirre al realizar la inspección visual detallada de cada uno de los elementos de la estructura, identificar y caracterizar algunas deficiencias encontradas y analizar los resultados obtenidos con los ensayos no destructivos, se concluyó que a pesar que la subestructura se encuentra en buen estado, todos sus elementos son vulnerables a la carbonatación, al presentarse este fenómeno el acero de refuerzo se ve expuesto a la corrosión. La ubicación del puente Romero Aguirre lo hace más vulnerable debido a la exposición severa a ambiente marino.

De acuerdo con los valores obtenidos con el ferroskan y la prueba de carbonatación indican que el acero de refuerzo todavía no se encuentra expuesto al concreto carbonatado, ya que los valores de recubrimiento y valores de profundidad de carbonatación permiten que el acero de refuerzo no se encuentre vulnerable a este proceso. Sin embargo, el puente presenta áreas en las cuales los valores de recubrimiento no son los adecuados y ya presenta exposición y corrosión del acero, estas áreas pueden dañar áreas alrededor que se encuentran en buen estado.

Para el caso de la vulnerabilidad sísmica y siendo la ciudad de Cartagena zona de amenaza sísmica baja, se puede considerar que así mismo sería para el caso del Puente Romero Aguirre, pero esto no es indicador que no puede llegar a presentarse un caso de sismo en la ciudad; para estimar el índice de vulnerabilidad sísmico se deben tener en cuenta varios parámetros, como los mencionados anteriormente, además en el caso del puente Romero Aguirre al ser el tablero una

estructura continua, indica que el tipo de suelo en el cual se encuentran ubicados los apoyos del puente, es un suelo duro, el cual permite que se presente buenos efectos de interacción suelo-estructura. Además el sitio de ubicación de la estructura influye en el nivel de peligro y combinado con la estructura del puente se puede estimar la vulnerabilidad. Para estimar el índice de vulnerabilidad es recomendable determinarlo por métodos cuantitativos con los cuales se pueden obtener datos numéricos.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con esta investigación se logró identificar las patologías presentes en el Puente Romero Aguirre, lo cual permitió mostrar las condiciones físicas de la estructura. A partir de la metodología planteada en este proyecto se logró localizar y caracterizar los daños presentes en el puente, lo cual puede repercutir en la estabilidad futura de la estructura. A partir de los objetivos planteados y los resultados obtenidos se logró valorar el estado actual del puente Romero Aguirre y proponer medidas para la rehabilitación de sus elementos.

Por medio de esta investigación se logró dar respuesta al cuestionamiento sobre plantear soluciones a partir de la identificación de los daños presentes en el puente Romero Aguirre, si estos problemas se identifican y caracterizan ayuda a tomar las precauciones para la protección o las medidas necesarias para el proceso de intervención y esto se obtuvo con lo planteado en la metodología a través de imágenes detalladas del estado de los elementos que constituyen el puente, inspección visual detallada y ensayos no destructivos.

La inspección visual por sí sola no es diagnóstico del estado de los elementos de la estructura, puesto que con esta no se conocen las propiedades mecánicas de los elementos. Debido a las limitaciones que se tenían no se pudo realizar ensayos destructivos, estos permiten evaluar las propiedades de los materiales, pero con estos dependiendo del ensayo es necesario la destrucción o degradación del área que se quiere estudiar. A pesar de esto, se pudieron realizar los ensayos no destructivos con el esclerómetro, prueba de carbonatación y ferroskan, con estos se determinaron la dureza superficial, profundidad de carbonatación y profundidad del recubrimiento del refuerzo respectivamente. El no realizar ensayos destructivos puede alterar los datos necesarios para la generación de las propuestas de intervención, ya que estos aportan datos de exploración directos y de ésta manera suscitar la reparación inmediata de los elementos del puente, tal como se apreció en la literatura de apoyo.

Este trabajo de grado enmarcado en la línea de seguridad estructural logró el desarrollo de la metodología planteada en el anteproyecto, durante el estudio patológico se encontraron resultados esperados, las patologías encontrados van acorde con las condiciones a las que está sometida el puente, en los elementos se encontraron fisuras, grietas, exposición del acero de refuerzo, perdida

de material, producto del ambiente y condiciones a las que está sometido, se pudo observar en gran porcentaje los elementos que están siendo afectados por la corrosión del acero de refuerzo siendo esta última el tipo de lesión más común en el puente Romero Aguirre.

Los mayores daños se presentaron en los elementos no estructurales como los andenes y barandas los cuales representan un daño del 6,4% en su totalidad, lo equivalente a 0,5%, 5,7% y 20,6% de daños en las áreas correspondientes a andenes y barandas en la calzada 1, calzada 2 y calzada 3 respectivamente y para el caso de los ensayos no destructivos:

- Prueba de esclerómetro se observó que la resistencia superficial de los elementos estructurales corresponden con los datos de los planos de licitación del puente Romero Aguirre, los cuales en sus especificaciones tienen una resistencia del concreto de 5000 PSI y los datos obtenidos en el campo arrojan valores que varían de 360 a 417 kg/cm<sup>2</sup> los equivalentes a 5000 y 5900 PSI.
- Con el Ferroskan se obtuvieron valores superiores a 4,7 cm para el recubrimiento de acero de refuerzo.
- En la prueba de carbonatación se obtuvieron valores menores a 3 cm de profundidad de concreto carbonatado lo cual indica que el acero de refuerzo aún se encuentra protegido para este proceso, sin embargo en algunas zonas el concreto carbonatado ya llegó al acero de refuerzo causado posiblemente por poco recubrimiento o pérdida del material.

A continuación se presenta en la Tabla 2 los resultados más relevantes del porcentaje de daños en los andenes y barandas y los valores obtenidos en los ensayos no destructivos.

**Tabla 2.** Resumen de resultados.

<b>Prueba</b>	<b>% Daños Andenes</b>	<b>% Daños Barandas</b>	<b>Esclerómetro</b>	<b>Ferroskan</b>	<b>Carbonatación</b>
<b>Localización</b>	Calzada 3	Calzada 3	Vigas calzada 1	Pilas calzada 3	Pilas calzada 2
<b>Resultado</b>	31,8%	12,4%	417 kg/cm <sup>2</sup> 5900 PSI	6,5 cm	3 cm
<b>Referencia</b>	Gráfico 6	Gráfico 6	Gráfico 1	Tabla 1	Imagen 26

Los resultados de esta investigación no se pudieron comparar con resultados anteriores ya que al puente Romero Aguirre de la ciudad de Cartagena no se le había realizado estudio alguno para verificar su estado.

Este tipo de estudio sirve como modelo a ingenieros y personas interesadas en el área de la patología de estructuras en la ciudad de Cartagena, ya que cuentan con un modelo de evaluación y diagnóstico para este tipo de estructura, además cuenta con un soporte científico y una ficha técnica de caracterización para futuras evaluaciones o intervenciones.

Finalmente, no se obtuvieron datos inesperados a lo largo de la investigación, los resultados obtenidos fueron de esperarse después de realizada la inspección visual ya que al hacer el recorrido por toda la estructura se notaron los principales problemas que presentaba el puente, puesto que lo que presenta mayor daño son los elementos no estructurales (andenes, barandas y accesos peatonales). En general, las patologías encontradas hacen parte de las tipologías que hasta el día de hoy se han estudiado debidamente, así también como las formas de enfermedades y sus tendencias a futuro.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Biblioteca UdeP. (s.f.). Recuperado el 30 de Marzo de 2014, de Vulnerabilidad Sismica:  
[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_134\\_180\\_87\\_1230.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_134_180_87_1230.pdf)
- Bunge, J., & Magallanes, D. (28 de Junio de 2011). *Universidad de Buenos Aires*. Recuperado el 10 de Marzo de 2014, de Ensayos no Destructivos:  
<http://materias.fi.uba.ar/6716/Presentacion%20NDT.pdf>
- Candebat Sanchez, D., Leyva Chang, K., Ferrera Toujague, H. d., Morejon Blanco, G., & Marquez Mercerón, P. I. (2008). *CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO DE LAS CARRETERAS DE SANTIAGO DE CUBA. ESTUDIO DE CASOS*. Recuperado el 20 de Marzo de 2014, de Academic Journals Database:  
[http://journaldatabase.org/articles/criterios\\_para\\_evaluacion.html](http://journaldatabase.org/articles/criterios_para_evaluacion.html)
- Construmática*. (s.f.). Recuperado el 15 de Marzo de 2014, de Métodos de Ensayo del Hormigón no Destructivos: Esclerómetro.:  
[http://www.construmatica.com/construpedia/M%C3%A9todos\\_de\\_Ensayo\\_del\\_Hormig%C3%B3n\\_no\\_Destructivos:\\_Escler%C3%B3metro.](http://www.construmatica.com/construpedia/M%C3%A9todos_de_Ensayo_del_Hormig%C3%B3n_no_Destructivos:_Escler%C3%B3metro.)
- El Universal. (2013 de Junio de 2013). *El Universal*. Recuperado el 16 de Febrero de 2014, de No hay puente vehicular que no esté roto en Cartagena:  
<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/no-hay-puente-vehicular-que-no-este-roto-en-cartagena-124544>
- Enright, M., & Frangopol, D. (2000). *ASCE Library*. Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de Survey and Evaluation of Damaged Concrete Bridges:  
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291084-0702%282000%295%3A1%2831%29>
- Fajardo Niño, J. A., & Viasús Pérez, W. E. (2007). *Educación Virtual Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Recuperado el 14 de Febrero de 2014, de Diseño Simplificado de Puentes: <http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/45.pdf>



Galindo Díaz , J., & Paredes López, J. A. (2010). *Dialnet Plus. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.* . Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de Daños en puentes históricos de arco de ladrillo en el Alto Cauca (Colombia): <http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2146/servlet/articulo?codigo=3825285>

Goldschmidt, P., D' Ascenzo, N., & Favretto, M. (2004). *Universidad Nacional del Nordeste.* Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de Patología en Puentes de la Red Vial del Chaco: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/7-Tecnologia/T-001.pdf>

*IngePuentes.* (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2014, de Definición de Puente: <http://ingepuentes.galeon.com/>

INVIAS. (2006). *Manual para la Inspección Visual de Puentes y Pontones.* Bogotá: INVIAS.

Lazzali, F., & Farsi, M. (2009). *SEISMIC VULNERABILITY OF BRIDGES AND TRAFFIC DISRUPTION WITHIN ALGIERS CITY.* Recuperado el 10 de Marzo de 2014, de EBSCO HOST: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/47181293/seismic-vulnerability-bridges-traffic-disruption-within-algiers-city>

Mengual Muñoz, A. (s.f.). *Pachómetro.* Recuperado el 20 de Abril de 2014, de Archivo de Arquitectura: <http://www.urbipedia.org/index.php/Pach%C3%B3metro>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Agosto de 2003). *Instituto Nacional de Tecnología Industrial.* Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de Manual de Diseño de Puentes: [http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/puentes\\_hormigon/12-Manual\\_Disen%C3%B3\\_Puentes2003.pdf](http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/puentes_hormigon/12-Manual_Disen%C3%B3_Puentes2003.pdf)

Muñoz , E., & Valbuena , E. (9 de Noviembre de 2004). *SCIELO.* Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS PUENTES DE ACERO DE LA RED VIAL NACIONAL DE COLOMBIA: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2004000300001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2004000300001&script=sci_arttext)

Muñoz, E., Hernández, R., Valbuena, E., Trujillo, L., & Santacruz, L. (21 de Enero de 2005). Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de Rehabilitación de los puentes de la Red de

carreteras de Colombia, basados en inspecciones visuales, estudios especializados y estrategias de reparación:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JJqFlcgV9V8J:www.ricuc.cl/index.php/ric/article/download/124/pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

Páez, S. P. (19 de Febrero de 2011). *El Universal. Ciudadano Reportero*. Recuperado el 10 de Marzo de 2014, de El Puente Roto: <http://ciudadano.eluniversal.com.co/movilidad/el-puente-roto.html>

Rivva, E. (2006). *ASOCEM*. Recuperado el 16 de Febrero de 2014, de DURABILIDAD Y PATOLOGIA DEL CONCRETO: [http://www.asocem.org.pe/bivi/re/dt/cons/durabilidad\\_patologia.pdf](http://www.asocem.org.pe/bivi/re/dt/cons/durabilidad_patologia.pdf)

Sanchez De Guzman, D. (2006). *Durabilidad y Patología del Concreto*. ASOCRETO.

Treviño Treviño, E. L. (1998). *PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURA DE CONCRETO REFORZADO*. Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Monterrey.