

EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA
PATOLOGÍA DEL PUENTE ROMÁN UBICADO EN EL BARRIO MANGA.

CARLOS ANDRES BUSTAMANTE PEÑA
DAVID ANDRES GONZALEZ MORALES



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D.T.Y.C

2014

EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA
PATOLOGÍA DEL PUENTE ROMÁN UBICADO EN EL BARRIO MANGA.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN: ÓPTICOS
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: PATOLOGIA Y ESTRUCTURAS DE CONCRETO
REFORZADO

INVESTIGADORES

CARLOS ANDRES BUSTAMANTE PEÑA
DAVID ANDRES GONZALEZ MORALES

PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO

Director

Ingeniero Civil Walberto Rivera Martinez



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA – FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D.T.Y.C

2014

EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA PATOLOGÍA
DEL PUENTE ROMÁN UBICADO EN EL BARRIO MANGA

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T. y C. Diciembre 2014

CONTENIDO

CONTENIDO	4
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO REFERENCIAL.....	15
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	15
1.2. ESTADO DEL ARTE	17
1.2.1. Entorno internacional.....	17
1.2.1.1. Puente N° 1	18
1.2.1.2. Puente N° 2.	20
1.2.1.3. Puente número 3	21
1.2.1.4. Puente número 4	21
1.2.2. Estudio en la India.....	23
1.2.3. Estudio en Portugal.	26
1.2.4. Entorno nacional.	27
1.3. MARCO TEORICO.....	32
1.3.1. Puentes	32
1.3.1.1. Puente isostático	32
1.3.1.2. Puente tipo viga	32
1.3.2. Superestructura.....	33
1.3.3. Subestructura.....	33
1.3.4. Tablero	33
1.3.5. Estribo	33
1.3.6. Elementos de enlace.....	34
1.3.7. Taludes de aproximación	34
1.3.8. Durabilidad de una estructura de concreto.....	34
1.3.9. Patología.....	34
1.3.10. Vida útil.....	35

1.3.11.	Evaluación.....	36
1.3.12.	Diagnóstico	37
1.3.13.	Ambiente muy severo	37
1.3.14.	Amenaza.....	38
1.3.15.	Vulnerabilidad.....	38
1.3.15.1.	Vulnerabilidad sísmica	38
1.3.15.2.	Vulnerabilidad estructural.....	38
1.3.15.3.	Vulnerabilidad no estructural.....	39
1.3.15.4.	Vulnerabilidad funcional.	39
1.3.15.5.	Agresividad del medio ambiente.	39
2.	OBJETIVOS	40
2.1.	OBJETIVO GENERAL	40
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
3.	ALCANCE.....	41
3.1.	DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	41
3.2.	DELIMITACIÓN TEMPORAL	43
3.3.	ALCANCE	43
4.	METODOLOGÍA	46
4.1.	DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	46
4.2.	INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	47
4.2.1.	Observaciones de campo y verificaciones.	47
4.3.	INFORMACION PRIMARIA	47
4.3.1.	Inspección general.....	47
4.3.2.	Inspección por elementos	48
4.3.3.	Ensayos no destructivos.	49
4.3.3.1.	Ensayo del martillo de rebote	49
4.3.3.2.	Ensayo de la fenolftaleína.....	50
4.4.	Inspección visual y Evaluación de los deterioros del pavimento asfáltico.	51
5.	RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO.....	56

5.1.	DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	56
5.2.	INFORMACION SECUNDARIA	58
5.3.	INFORMACION PRIMARIA	58
5.3.1.	Inspección general.....	58
5.3.2.	Inspección por elementos.....	60
5.3.3.	Superficie del puente y accesos.....	60
5.3.3.1.	Juntas de expansión	62
5.3.3.2.	Andenes & Bordillos	64
5.3.3.3.	Barandas.....	65
5.3.3.4.	Iluminación	65
5.3.3.5.	Señalización.....	66
5.3.3.6.	Drenajes	67
5.3.3.7.	Apoyos	68
5.3.3.8.	Aletas y estribos.....	69
5.3.3.9.	Pilas.....	70
5.3.3.10.	Losas, vigas y riostras	71
5.4.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	73
5.4.1.	Ensayo del martillo de rebote.....	73
5.4.2.	Ensayo de la fenolftaleína.....	76
5.5.	INSPECCIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO.....	77
5.6.	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	83
6.	CONCLUSIONES	91
7.	RECOMENDACIONES	93
	ANEXOS	94
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Fotografía del estado de la superestructura.	18
Imagen 2. Fotografía de la corrosión de las vigas longitudinales y mal estado de los troncos de madera transversales.....	19
Imagen 3. Fotografía de las grietas en las juntas y deterioro del pavimento.	20
Imagen 4. Puntos de cuadrícula marcada en el Puente Pier.....	23
Imagen 5. Pruebas de Puente Pier usando martillo de rebote	24
Imagen 6. Prueba de Puente Pier usando Ultrasonic Tester.....	24
Imagen 7. Extracción del núcleo de hormigón del puente Pier.....	25
Imagen 8. Carreteras de Portugal	26
Imagen 9. Distribución de los puentes inspeccionados.....	27
Imagen 10. Modelo tridimensional que uso en el estudio, en el cual muestran las Características generales del modelo desarrollado para el puente "Luis Ignacio Andrade".	29
Imagen 11. Comparación de los resultados de la aplicación de carga con los resultados equivalentes arrojados.....	30
Imagen 12. La imagen muestra la comparación de la respuesta dinámica del puente y del modelo ante la carga cíclica producida por un excitador dinámico de estructuras.....	30
Imagen 13. Curva de vida útil de la estructura.....	36
Imagen 14. Ubicación Geográfica del Puente Román.	41
Imagen 15. Panorámica vista del puente Román desde el Castillo San Felipe de Barajas.	42
Imagen 16. Vista desde un sobre vuelo sobre el Centro Histórico de la ciudad de Cartagena de Indias.	42
Imagen 17. Propuesta de intervención para juntas.....	84
Imagen 18. Propuesta de intervención para las columnas de los pórticos (refuerzo y aumento de sección).....	88

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Escala de calificación de los componentes de los puentes.....	37
Tabla 2. Agrupación del Is en categorías como variable cualitativa.....	52
Tabla 3. Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo A	53
Tabla 4. Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo B	54
Tabla 5. Convenciones mapa de Daños	55
Tabla 6. Estado de la resistencia del concreto de la pila 1.....	74
Tabla 7. Estado de la resistencia del concreto de la pila 2.....	74
Tabla 8. Estado de la resistencia del concreto de la pila 3	75
Tabla 9. Estado de la resistencia del concreto de la pila 4.....	75
Tabla 10. Estado de la resistencia del concreto de estribos.	76
Tabla 11. Valoración cualitativa del pavimento flexible	78

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Tabla para determinar la resistencia del concreto con base a al valor de lectura del esclerómetro.	50
Fotografía 2. Fotos panorámicas de perfil y de la superficie.	59
Fotografía 3. Falla por impacto de vehículo en segunda luz del puente.	60
Fotografía 4. Socavación de elementos de protección de taludes y estribo N° 2	61
Fotografía 5. Deterioro de los guardacantos y juntas de expansión.	63
Fotografía 6. Desnivel y falta de baldosines en los andenes & presencia de vegetación en la superestructura.	64
Fotografía 7. Agrietamiento y desalineamientos de las barandas.....	65
Fotografía 8. Ausencia de iluminación en varios puntos.....	66
Fotografía 9. Detalle de la presencia de señalización vertical en el puente.....	67
Fotografía 10. Drenajes mal construidos	67
Fotografía 11. Elementos de enlace en placas de neopreno en precarias condiciones.	68
Fotografía 12. En el estribo número 1, se evidencia una grieta de 45°, en el estribo 2 se ven eflorescencias por ciclos de humedecimiento y secado.	69
Fotografía 13. En 1 se ve una gran grieta en la viga de amarre del pórtico 2, en 2 se notan grietas verticales en las columnas de los pórticos y en 3 se ve una grieta considerable en la viga de amarre del pórtico 4.....	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Formato para la inspección visual de puentes y pontones.....	94
Anexo 2. Resumen deterioros del tipo "A" en pavimentos asfálticos para carreteras. ...	95
Anexo 3. Formatos B.3 (Resumen deterioros del tipo "B" en pavimentos asfálticos para carreteras).....	96
Anexo 4. Formatos B.4 (Cálculo del Is por secciones de 10 metros)	97
Anexo 5. Carta solicitud Esclerómetro.	98
Anexo 6. Carta Solicitud Gps y Cinta métrica.....	99
Anexo 7. Carta solicitud de planos a EDURBE.....	100

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal identificar y caracterizar las patologías presentes en cada uno de los elementos del puente Román ubicado en el barrio Manga para determinar con datos concretos la necesidad de iniciar un proceso de reparación, rehabilitación y mantenimiento de la estructura según sea el caso. A partir de los resultados del estudio se plantearon acciones necesarias para alargar la vida útil de esta obra histórica e importante de la ciudad, considerando la seguridad y comodidad del tránsito tanto de vehículos como de peatones. Se realizó una inspección visual y detallada registrada mediante un archivo fotográfico, se hicieron mediciones y ensayos no destructivos de tipo químico (fenolftaleína) y de tipo mecánico (Esclerómetro) en la estructura y un levantamiento topográfico que sirvió para hacer el plano y mapa de los daños. Se obtuvieron elementos con daños menores como en el caso de barandas, andenes y bordillos, los cuales no comprometen la estabilidad del puente pero sí la comodidad de los transeúntes, y en los elementos estructurales como las pilas aporticadas se encontraron daños en el concreto reforzado gravemente afectado por carbonatación, pérdidas de sección y corrosión de los aceros, además de ataques de tipo biológico en las partes afectadas por el humedecimiento y secado ocasionado por las aguas de la Laguna de San Lázaro. De los resultados obtenidos en la inspección visual y evaluación patológica, se concluye la necesidad de realizar labores de conservación, mantenimiento y reparación en los elementos estructurales principalmente en el pórtico número 2 (dos) y en la carpeta asfáltica tales como el aumento de secciones y reforzamiento de la armadura.

Palabras Clave: Diagnóstico patológico, patología estructural, mecanismos de ataque, vulnerabilidad estructural, agresividad del medio ambiente.

ABSTRACT

This paper's main objective was to identify and characterize the conditions present in each of the elements of Roman bridge located in Manga neighborhood to determine the need to initiate a repair process, rehabilitation and maintenance of the structure as the case. From the study results, necessary actions were determined to extend the life of this historic and important building in the city, considering the safety and comfort of movement of both vehicles and pedestrians. Visual and detailed inspection recorded by a photographic archive was performed, measurement as a nondestructive chemical testing (phenolphthalein) and a mechanical testing (Sclerometer) were made in the structure too, and topographic survey used to make the map and damage map. Items with minor damage as in the case of guardrails, sidewalks and curbs were obtained, which do not compromise the stability of the bridge but the comfort of pedestrians, and structural elements such as battery damage portal frames were found in severely reinforced concrete affected by carbonation loss section and steel corrosion addition of a biological attack on the parts affected by wetting and drying caused by the waters of Laguna de San Lázaro. From the results of the visual inspection and pathological evaluation, the need for conservation work, maintenance and repair of structural elements mainly on the porch number 2 (two) and the asphalt such as increased section concludes and strengthening the armor.

Keywords: Pathological Diagnosis, structural pathology, attack mechanisms, structural vulnerability, aggressiveness of the environment.

INTRODUCCIÓN

El puente Román en la ciudad de Cartagena de Indias está ubicado sobre la Laguna de San Lázaro en el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias, Colombia en la Calle 25 entre el sector de Getsemaní y el barrio Manga, fue construido en su última fase en el año 1986 por la Empresa de Desarrollo Urbano de Bolívar (EDURBE) como solución vial para salvar el cuerpo de agua de la Laguna de San Lázaro y con el gálibo necesario para permitir el paso de embarcaciones y así garantizar la continuidad al flujo vehicular de la calle 25 de la isla de Manga. Desde su inauguración, hace 28 años el puente Román ha prestado su servicio como solución vial y peatonal de manera eficiente, consiguiendo la comunicación de la isla de manga con el sector de Getsemaní y el cruce de embarcaciones en condiciones óptimas de seguridad hasta la fecha, pero en constante abandono por parte del Distrito en materia de mantenimiento estructural y chequeos sobre las patologías que pueda presentar la estructura por funcionamiento y por estar ubicada en una zona de exposición marina durante estos 28 años. En su defecto las condiciones físicas que actualmente presenta este puente no son las mejores, se observaron diversas fallas en algunos de los elementos que lo conforman tanto en la subestructura como en la superestructura, lo que puede ocasionar posiblemente problemas con su funcionamiento más adelante.

Es importante para la Ciudad de Cartagena, contar con una buena infraestructura que permita la conexión de sus numerables islas de manera segura, por eso es importante mantener las buenas condiciones de servicio de las estructuras que permiten la comunicación vial entre dichas islas y las partes continentales.

A raíz del descuido de dicho puente por parte de los entes encargados de su conservación y mantenimiento, se decide hacer el estudio sobre el estado patológico actual, desarrollando estudios detallados de la estructura, y con ello tener conocimiento de las posibles lesiones que podría tener y arrojar posibles medidas que se deban tomar al respecto para su posible intervención, para mejorar las condiciones de servicio del puente Román, con el fin de dar respuesta al Interrogante ¿Cuáles son los factores detonantes que han causado el aparente

debilitamiento de la estructura del Puente Román y cuáles serían las posibles intervenciones que se deberían hacer para la restauración de éste?.

En el desarrollo del estudio se realizó una inspección visual y ensayos no destructivos para evaluar el estado de patología de cada uno de los elementos del puente y con base en ello establecer un diagnóstico confiable consignado en este informe, sobre el estado actual del puente, el que contiene una propuesta de intervención para dar soluciones a la problemática encontrada. Para el estudio, se consultaron documentos técnicos de INVIAS como guía metodológica y técnica para analizar el estado de la estructura en general.

El proyecto se ejecutó en la ciudad de Cartagena, durante el segundo semestre del año 2014 y tiene como enfoque de estudio la patología de estructuras de concreto reforzado dentro de las líneas de investigación del programa de ingeniería civil de la Universidad de Cartagena y representa un tema muy importante para los ingenieros civiles por las condiciones ambientales en las que deben funcionar las estructuras de concreto en la ciudad.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Uno de los aspectos que más ha disminuido en Cartagena la calidad de vida de sus ciudadanos ha sido el mal estado de sus vías, esto es evidente no sólo en las carreteras sino también en las grandes obras como lo son los puentes que han sufrido día a día parcial o total abandono por parte de las entidades encargadas de la vigilancia, control y mantenimiento de estas estructuras. (El Universal, 2013)

En el caso de los puentes, realmente no hay una política seria que promueva la conservación de éstos, y en algunos casos no se tiene claro a qué entidad gubernamental le compete el mantenimiento periódico para conservarles sus buenas condiciones de movilidad.

Claro ejemplo de esto último es el caso del antiguo Puente Heredia construido en 1539 y actual arteria principal de comunicación el Centro y el resto de la ciudad, el cual ha estado inmerso en un olvido total hasta el punto de ser demolido en 1994 pero por ser considerado patrimonio histórico de la ciudad se tuvo que desistir de esa idea, y se construyó un nuevo puente paralelo al antiguo. El antiguo puente a pesar de ser un monumento valioso para la ciudad, la imagen que refleja actualmente es que hace mucho no se invierte en su conservación, y ha sido sometido a diario a factores que muy probablemente aceleran el deterioro de su estructura como son la presencia de basuras en sus estribos, los andenes usados por motociclistas para evadir la congestión vehicular y como consecuencia dicho desgaste es evidenciado con la presencia de muchos baches, bordes deteriorados, ausencia de barandas, huecos en la zona peatonal, etc. En el año 2011 un ciudadano interpuso una demanda al Distrito y al IPCC, exigiendo la pronta recuperación de ese importante patrimonio histórico también conocido como Revellín de la Media Luna y se decretó un fallo a favor del demandante, pero durante el transcurso del proceso existió una disputa entre el IPCC y el Ministerio de Cultura debatiendo acerca de quién debía ser la entidad responsable de efectuar las obras del caso. Ambas partes argumentaban no tener responsabilidad alguna.

Quedando así demostrada la falta de conocimiento sobre quien tiene la jurisdicción sobre el mantenimiento de las vías en Cartagena:

“En ese momento el IPCC argumentó que ese monumento fue incluido en el Plan Especial de Manejo y Protección de Bienes de Interés Cultural (PEMP), un instrumento de gestión para la preservación, protección y sostenibilidad de la ciudad, vista como patrimonio histórico de la humanidad. Una vez terminada la formulación del PEMP iba a ser inscrito en el Plan Nacional de Recuperación de Centros Históricos y beneficiario de recursos que asigna el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Pero al parecer nada ha sucedido.” (Castaño, 2013)

Por último, otros vivos ejemplos sobre la ausencia de estudios de patología para mantenimiento y conservación de la vida útil han sido los puentes Román, Jiménez y Las Palmas en Manga y puente Romero Aguirre, entre Crespo y Canapote, quienes muestran el bajo interés que hay por su preservación. “Pero quizá el más grave de ellos es el Jiménez que desde hace más de dos años no posee barandas en gran parte de él.” (El Universal, 2013)

“Por su parte, el puente Heredia posee una platinas y baches en mal estado que están a la espera de su arreglo, la misma situación la presenta el puente Romero Aguirre, ubicado entre Crespo y Canapote. (El Universal, 2013)

De lo anterior puede concluirse, que en el distrito de Cartagena, las autoridades encargadas del mantenimiento vial carecen de estudios que sustenten la necesidad de un mantenimiento preventivo en sus redes de comunicación vial, ya que notoriamente estos puentes no se encuentran en unas condiciones óptimas desde hace varios años para acá.

En septiembre de 2013 se hicieron unas reparaciones en los puentes Jiménez, Las Palmas y Román localizados en el barrio Manga, “Alberto Mendoza, arquitecto de la Secretaría de Infraestructura, explicó que actualmente se tiene un porcentaje de avance del 70% debido a que se han culminado las tareas de pintura, resane y arreglo de 20 metros lineales de tubería galvanizada de las barandas del puente Román. En este momento se arreglan los pisos de esa

estructura. Aun así, es menester no limitarse a hacer simples reparaciones, sino también, hacer investigaciones más profundas que promuevan por el buen estado de este tipo de estructuras y que éstas puedan tener una vida útil más prolongada y de calidad.

1.2. ESTADO DEL ARTE

La evaluación y diagnóstico para la patología en las estructuras hacen parte del seguimiento que debe hacerse a todas las estructuras después de haber cumplido cierto tiempo en funcionamiento o haber cumplido con lo que se llama vida útil de la estructura, esto para prever colapsos, fallas y corregir a tiempo las lesiones que se presenten en el concreto, esto es: para un buen comportamiento en su estado de servicio y conservación del buen estado estructural hay que diagnosticar a tiempo las lesiones que se tengan para poder corregirlas sin que se presenten fallas y colapsos letales.

Se entiende como vida útil “el periodo de tiempo en el cual, la estructura conserva los requisitos previstos de seguridad, funcionalidad y estética (aspecto), con costos razonables de mantenimiento. (Sánchez de Guzmán, 2002).

Para garantizar la funcionalidad y buen estado de éstas, es necesario después de un periodo de tiempo hacer una serie de estudios y evaluaciones a dichas estructuras para así diagnosticar posibles lesiones patológicas que definen si la estructura debe ser intervenida para una restauración o simplemente corroborar su buen estado.

A nivel mundial existen estudios que soportan lo anteriormente dicho, como ha sucedido con la evaluación y diagnóstico de la patología de puentes hechos en diferentes ciudades y provincias.

1.2.1. Entorno internacional

En Brasil, más exactamente en la región urbana y rural de Campinas se hizo un estudio patológico de 4 puentes de gran importancia para ésta región, el título de la investigación se define como “Identification and analysis of pathologies in bridges of urban and rural roads” (Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales).

Dicho estudio fue realizado por Nilson Tadeu Mascia y Artur Lenz Sartorti para la revista “ingeniería de construcción” vol. 26 N 1 de la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP. BRAZIL en el año 2010. Los autores del artículo describen la problemática de la siguiente manera: *“Desgraciadamente, es posible notar que la mayoría de los puentes rurales y urbanos presentan condiciones patológicas críticas, poniendo en riesgo la seguridad de la sociedad y produciendo pérdidas económicas. Este artículo intenta colaborar con las tareas de identificación de patologías en puentes pequeños y de tamaño mediano. Para tal efecto, es necesario revisar los factores relativos a los diseños de puentes y patologías en estructuras de madera, acero y concreto.”* (Tadeu & Lenz, 2010)

La Identificación y análisis de patologías fue realizada a cuatro puentes de Campinas (SP) en el sudeste de Brasil.

1.2.1.1. Puente N° 1

Está ubicado en la calle Antonio Zaine, en el distrito de Barão Geraldo, al cual puede considerarse como un puente artesanal, puesto que está hecho con elementos de madera y la losa la compone una capa de suelo, en la se logran apreciar estos detalles.

Imagen 1. Fotografía del estado de la superestructura.



Fuente: Artículo de revista Nilson Tadeu Mascia; Artur Lenz Sartorti.

A éste puente le hacen una inspección netamente visual con la que se determinan fallas en la superestructura, estas comprendidas por la corrosión en las vigas longitudinales de acero, las cuales ya han perdido parte de su sección transversal en la zona de tensiones y el mal estado de las vigas transversales al tráfico, las cuales son de madera encontrándose con grandes signos de desintegración, podridas por la humedad que se guarda en el material de suelo que sirve como losa. Existen problemas adicionales en relación con las juntas que presentan grietas visibles, indicando sobrecargas excesivas a las permitidas por el diseño. En parte las juntas no están unidas debido a la erosión y bajo rendimiento, también se observa que los contrarrieles de madera están en precarias condiciones y podrían fallar incluso con cargas menores. La Imagen 2 ilustra tales lesiones.

Imagen 2. Fotografía de la corrosión de las vigas longitudinales y mal estado de los troncos de madera transversales.



Fuente: Artículo de revista Nilson Tadeu Mascia; Artur Lenz Sartorti.

La sugerencia que hacen los autores de esta investigación para mantener las condiciones estructurales del puente o su reparación es cambiar la superestructura por una hecha en concreto reforzado y/o madera, para así aumentar la capacidad de carga y función estructural, como también aumentar la vida útil, pues con una losa de concreto se evitan la acumulación de humedad que ocasiona las lesiones principales en esta estructura.

1.2.1.2. Puente N° 2

Puente numero dos es un puente de sistema estructural tipo losa construido en su totalidad en concreto reforzado con una luz de 7.5 metros y ancho de 14 metros, este está ubicado en la calle Antonio Zaine, en el distrito de Barão Geraldo y el sistema de evaluación es visual, detectando en él la presencia de grandes surcos en diversas partes, lo cual indica que la presión de la tierra adyacente es mayor que la capacidad de resistencia de los estribos. Además de la deficiencia patológica, el estado de conservación de los contraríeles y pavimento del puente son precarios, puesto que se observan grietas y ondulaciones, también diagnostican que el drenaje del puente no es eficiente, pues se observan en la losa humedades y acumulación de agua.

El avanzado grado de agrietamiento indica un esfuerzo excesivo, este tipo de patología es posible conlleve a un colapso que puede causar daño a la comunidad, especialmente a los estudiantes de una escuela que se encuentra muy cercana. El diagnóstico arroja que la intervención para fortalecer los soportes es urgente, ya que si no se hace una pronta intervención en la estructura, ésta podría colapsar. Las otras patologías tales como la corrosión en refuerzos de aparatos de protección (barandas) y el avanzado deterioro del pavimento son temas que requieren tratamiento de conservación vial. En conclusión se observa una relativa negligencia en la inspección y mantención de la estructura del puente, en resumen abandono total por parte de esta (ver Imagen 3).

Imagen 3. Fotografía de las grietas en las juntas y deterioro del pavimento.



Fuente: Artículo de revista Nilson Tadeu Mascia; Artur Lenz Sartorti.

1.2.1.3. Puente número 3

El puente en estudio número 3 por ser la conexión de dos importantes distritos, cuenta con una infraestructura más compleja ya que el número y magnitud de vehículos son bastante altos. Está situado en el distrito de sousas sobre el río Atibaia y como característica principal tiene que es la ruta óptima para llegar al distrito de Joaquin Egidio, un importante lugar en esta zona. Por lo anterior éste está diseñado para soportar un tráfico superior al de los puentes anteriores, pues por él transitan autos, buses y camiones. El puente es de concreto reforzado y está compuesto por una losa que cubre una luz de 38.2 m, y es soportada por juntas y un pilar central ubicado en el medio del río.

El puente en su evolución patológica se le encontró diversas fallas por las cuales éste podría colapsar si no se atienden de manera inmediata. La principal falla que este presenta es la continua y excesiva vibración observada al pasar los vehículos, aparte de eso, el hormigón se encuentra lixiviando por causas de un drenaje deficiente y por lo tanto se observa que existe un fenómeno de carbonatación, este fenómeno está acompañado del desprendimiento del hormigón debido a la corrosión del acero de refuerzo, las aceras (andenes peatonales) son de acero y están corroídas y la parte de madera de ésta se encuentra lesionada por causas de hongos presentes en ella.

En el artículo mencionan que este puente es patrimonio de la ciudad de Campinas, por eso, los autores de éste artículo consideran de manera inmediata la restauración y proponen lo siguiente: *“La corrosión de los perfiles de metal requiere de un de un tratamiento con sustrato para remover partes corroídas e impurezas, así como la aplicación de pinturas anticorrosivas en las secciones donde es necesario reemplazar el material. También es necesario reemplazar muchas piezas de la tabla de madera tratada.”* (Tadeu & Lenz, 2010)

1.2.1.4. Puente número 4

Este puente es de suma importancia para la industria de la agricultura, pues conecta dos de estas zonas transformándolo en un lugar de paso constante de camiones. Está ubicado en una pista del camino de Rhodia in Barão Geraldo y es de suma importancia su restauración como

lo afirman los autores de este artículo. Una descripción general del puente menciona que su tablero está compuesto de tablas de madera en forma longitudinal y sus troncos y extremidades transversales son empleados como troncos de madera, según se muestra en la Figura 7. El puente tiene una luz de una extensión de 16.0 m y un ancho de pista de 4.5 m de longitud.

De la evaluación patológica se diagnostica que debido a las extremas condiciones de mal estado de unos elementos de madera que hacen la función de vigas transversales el puente tuvo que ser reforzado con una viga transversal en acero soportada por cables de acero anclados en las cabeceras del puente por bloques de hormigón (muertos), En la inspección visual se observa que los cables no tienen suficiente tensión, por lo tanto, es posible moverlos manualmente. Los troncos se encuentran en estado crítico de pudrición por hongos y la presencia de humedad permitió el desarrollo de musgo, la mala construcción de la juntas hechas en hormigón reforzado hace notoria la presencia de aglomeraciones de este material, también se nota que el puente está lleno de mucha suciedad en la sección transversal de lo que se deduce que en épocas de invierno la tirante de las aguas del cauce llegan hasta la cota del tablero amenazando con el colapso por fuerza de las aguas. (Tadeu & Lenz, 2010)

Las recomendaciones para la restauración del puente son: que los cables sean tensionados, de igual modo protegidos apropiadamente de la corrosión y que además los troncos del guardarriel deben ser reemplazados a la brevedad. Limitaciones del estudio: una de las limitaciones que se puede apreciar en el estudio hecho al puente N° 1 es que el sistema constructivo es tipo artesanal y no es equiparable con el estudio que se pretende hacer al puente Román en la ciudad de Cartagena. Considerando el método de evaluación hecha, se evidencia que al tratarse de una inspección netamente visual se queda insuficiente ante los ensayos que se pretenden hacer al puente Román, también otra limitación es la ubicación de los puentes, pues el tipo de exposición en el ambiente no es el mismo presentando variaciones en la patologías del puente.

1.2.2. Estudio en la India

El siguiente estudio se realizó en la India, titulado “Non Destructive Testing of Bridge Pier - a Case Study” (Ensayos No Destructivos de Puente Pier - un estudio de caso). Fue realizado por Rama Seshu D. y Dakshina Murthy N.R. Para un Instituto Nacional de Tecnología, Warangal, India.

En un puente de vigas T, construido a través de un río en la India, se informó que la resistencia del hormigón en uno de los muelles no se puede lograr en el ensayo de correspondiente cubos de hormigón. Además, las muestras de núcleos obtenidos dieron valores de fuerza diferente. En este sentido, se recomienda contar con la lechada del muelle. Después de la lechada en conformidad con el procedimiento, la prueba no destructiva se llevó a cabo utilizando Martillo de Rebote y un medidor de velocidad de pulsos ultrasónico. Además para cuantificar la fuerza de tres muestras de núcleos de concreto también se recogieron para su análisis. La prueba se llevó a cabo en la presencia de personal de Ingeniería. (Ver: Imagen 4, Imagen 5, Imagen 6, Imagen 7)

Imagen 4. Puntos de cuadrícula marcada en el Puente Pier.

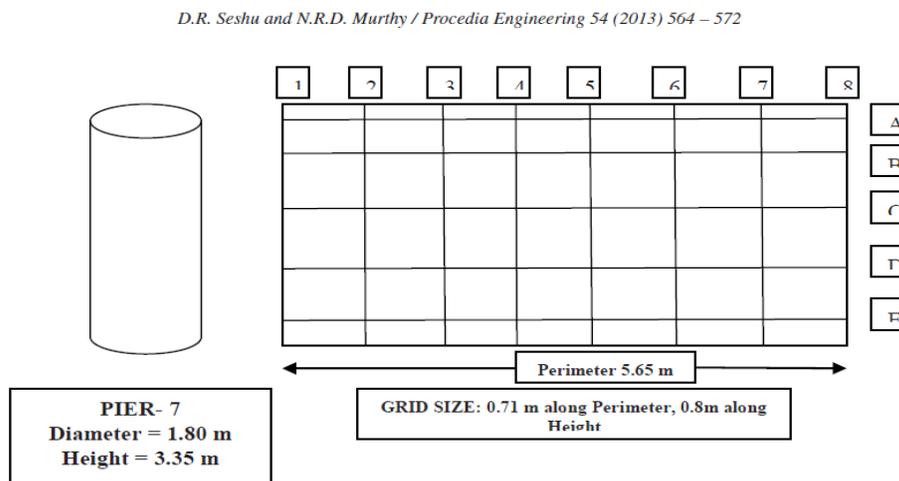


Imagen 5. Pruebas de Puente Pier usando martillo de rebote



Imagen 6. Prueba de Puente Pier usando Ultrasonic Tester



Imagen 7. Extracción del núcleo de hormigón del puente Pier



Los resultados fueron. La prueba núcleo de hormigón indican que la resistencia a compresión media del hormigón fue 32.91MPa. También se observa que los valores de prueba de núcleo individuales (que son dentro de $\pm 20\%$ del valor medio) están por encima de 20 MPa y satisfacen la fuerza requerida de hormigón M20. La velocidad media del pulso ultrasónico obtenido fue 3.942 km / s. Además ninguno de los valores USP fue menor que 3km/sec. También la variación en los valores individuales de la USP estuvo dentro de $\pm 10\%$ de promedio. Todo esto indica, de acuerdo con las directrices establecidas en IS-13311-Parte 1 - 1992, que la calidad del hormigón en términos de uniformidad, la incidencia o ausencia de defectos, grietas y la segregación, el nivel de mano de obra empleada pudo ser categorizado como “Media”.

El valor medio de rebote fue 34,58 y la variación en los valores individuales estuvo dentro de $\pm 10\%$. La resistencia a la compresión de hormigón según la interpretación del valor de rebote fue 24.865 MPa, que satisface el requerimiento de concreto M20. De la investigación anterior se pudo concluir que el hormigón utilizado en la construcción de RCC Pier del

Puente del Río quedó confirmado como concreto grado M20 según IS 456 - por ES 13311-Parte-1-1992.

Limitaciones: se presentan como limitaciones de este estudio las pruebas destructivas, pues como se especifica en la metodología de la presente propuesta, las pruebas que se realizaran en la presente propuesta son NO destructivas.

1.2.3. Estudio en Portugal.

El estudio “Inspection survey of 150 expansion joints in road bridges” (Encuesta de Inspección de 150 juntas de dilatación en puentes de carretera), se realizó en Portugal el cual fue presentado por João Marques Lima, y Jorge de Brito para Universidad Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal (ver Imagen 8).

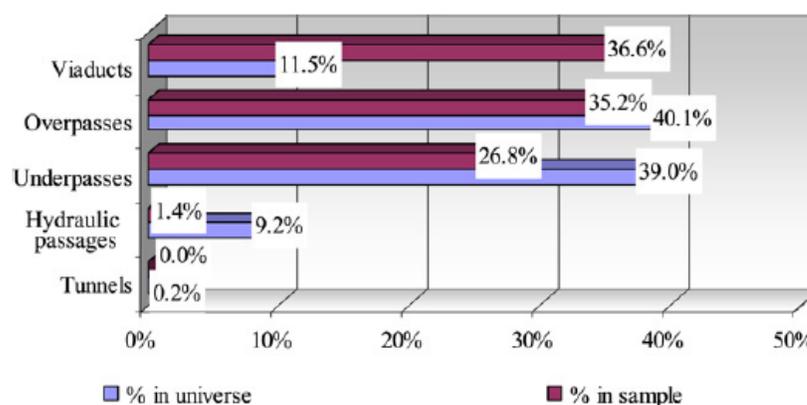
Imagen 8. Carreteras de Portugal



Fig. 1. Brisa highways' network.

Con el fin de obtener una muestra representativa de los más de 1.500 puentes dentro de la red, la distribución en términos de tipo, edad y ubicación geográfica de los 71 puentes inspeccionados se estableció con el fin de replicar el universo global de los puentes. La distribución de los puentes inspeccionados por tipo se muestra en la Imagen 9 y en comparación con el universo global. Generalmente se obtuvo una buena aproximación, en particular en el caso de pasos elevados.

Imagen 9. Distribución de los puentes inspeccionados



Y los resultados se contemplan en la siguiente declaración. En esta campaña se detectaron 369 defectos que corresponde a un promedio de 2,5 defectos por cada una de las 150 juntas inspeccionadas. Si se excluyeran las articulaciones donde se detectaron defectos (13 casos, es decir, el 8,7% de la muestra), este promedio subiría a 2.7 defectos / articulación. Los resultados obtenidos, así como una breve interpretación de ellas se presentan a continuación. La secuencia de presentación sigue la del sistema de clasificación propuesto en el sistema de gestión (fig. 3) que fue validado basado en el presente trabajo.

1.2.4. Entorno nacional

En la población de Honda – Tolima, la Universidad de los Andes a través del Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles (CIMOC) hizo un estudio de vulnerabilidad sísmica a la estructura de un puente en el año 1998 (puente Luis Ignacio Andrade). El estudio

hace parte del informe Final de la Fase III: Caso de aplicación de evaluación, diagnóstico, reforzamiento y rehabilitación de tres puentes característicos preparado para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

El puente Luis Ignacio Andrade se caracteriza por un sistema constructivo tipo colgante compuesto por una luz principal de 140 m con vigas longitudinales en armaduras de acero, vigas transversales y viguetas de acero y tablero en concreto reforzado el cual va soportado por un sistema estructural de celosías que le transmiten la carga a los pendolones. Este estudio hace parte de un artículo llamado “Vulnerabilidad Sísmica De Puentes En Colombia Y Estrategias Para Rehabilitación”, teniendo como autores a Luis E. Yamin & Daniel Ruiz.

Descripción del estudio: El estudio consistió en una calificación del estado de los diferentes elementos que componen el puente (tanto la superestructura como la subestructura) teniendo en cuenta la importancia relativa del elemento en el comportamiento global del puente. La evaluación se hizo mediante ensayos no destructivos de campo y computarizados e inspecciones visuales directamente a la estructura para determinar su capacidad de resistencia y soporte estructural. (Yamin & Ruiz, 2000)

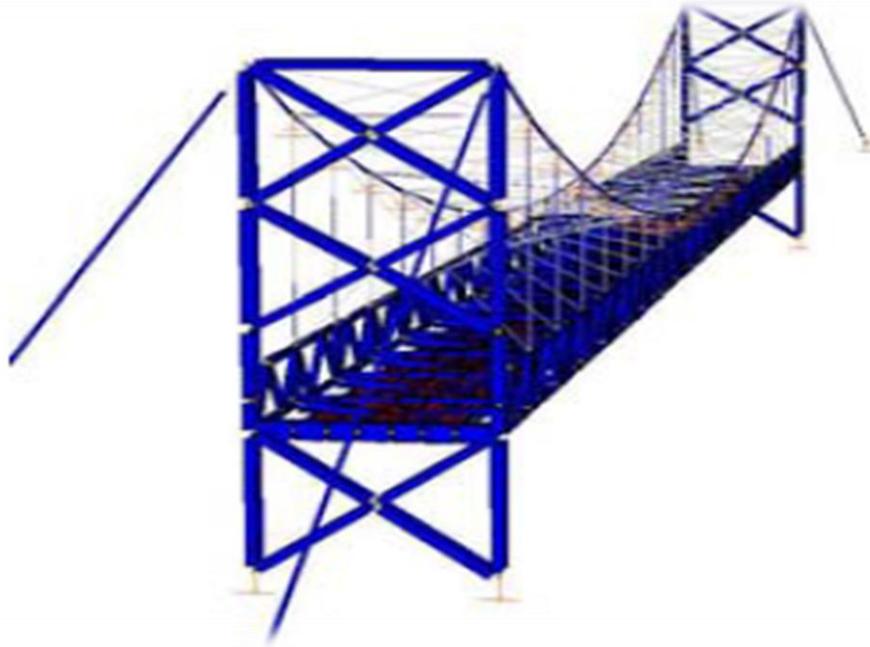
El puente fue sometido a varias pruebas de comportamiento tales como aplicación de cargas gravitacionales conocidas, registro de vibraciones ambientales, excitación cíclica y registro de la respuesta dinámica y evaluación de la calidad de los materiales estructurales principales. En el proceso de evaluación el puente se instrumentó con acelerógrafos de alta sensibilidad, "strain gages" en los elementos estructurales principales, termocuplas y se llevó un registro topográfico durante las diferentes pruebas realizadas. (Yamin & Ruiz, 2000)

Dentro de la inspección visual se realizó una inspección del avance de la corrosión del cordón inferior del puente y de las uniones de las celosías a las torres principales del puente. En las pruebas de ultrasonido de tinta penetrante se encontró que existían problemas de porosidad, socavados y de cordones irregulares en la soldadura de las conexiones del puente, así mismo en algunos remaches se observó desgaste causado por la corrosión. Dentro de los modelos

computarizados se adelantó un modelo analítico tridimensional Calibrado con las pruebas de comportamiento realizadas, estas a su vez fueron comparadas con los modelos. (Yamin & Ruiz, 2000)

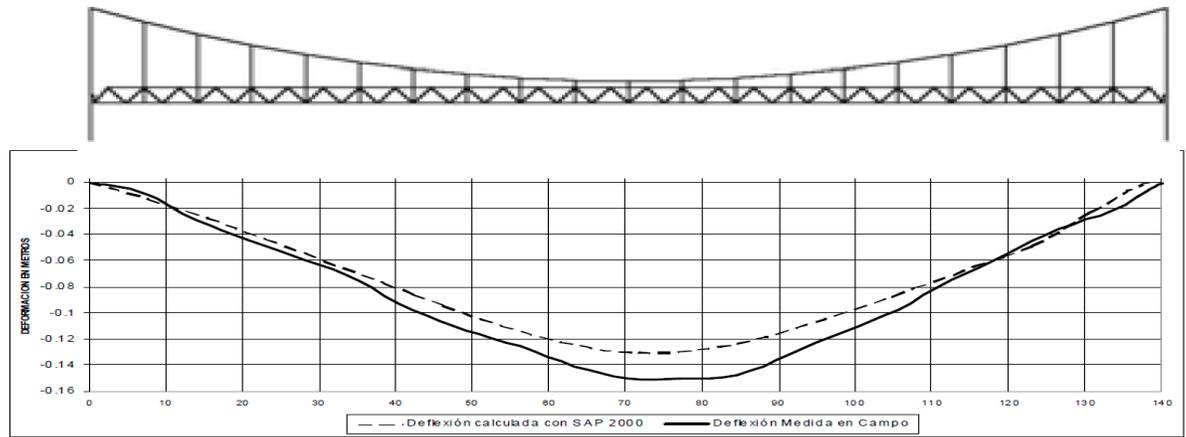
La siguiente figura presenta las características generales del modelo desarrollado, así mismo se presenta en este artículo mediante imágenes los resultados que se obtuvieron y las comparaciones de éstos.

Imagen 10. Modelo tridimensional que uso en el estudio, en el cual muestran las Características generales del modelo desarrollado para el puente "Luis Ignacio Andrade".



Fuente: Yamin.L & Ruiz.D, 2000, (pág. 06).

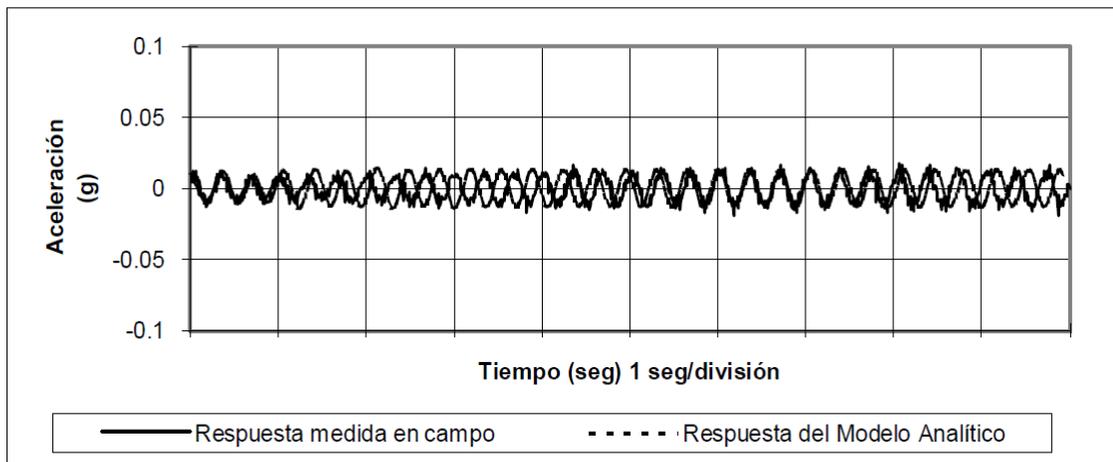
Imagen 11. Comparación de los resultados de la aplicación de carga con los resultados equivalentes arrojados.



Fuente: Yamin.L & Ruiz.D, 2000, (pág. 06).

También se pudo comparar la respuesta dinámica del puente y del modelo ante la carga cíclica producida por un excitador dinámico de estructuras

Imagen 12. La imagen muestra la comparación de la respuesta dinámica del puente y del modelo ante la carga cíclica producida por un excitador dinámico de estructuras.



Fuente: Yamin.L & Ruiz.D, 2000, (pág. 06).

En su metodología se evaluaron posteriormente los índices de sobreesfuerzos de los diferentes elementos estructurales ante diferentes situaciones de carga.

Limitaciones: el método constructivo de sistema de puente colgante y el material (acero) hacen parte de las limitaciones presentes en este estudio, pues no son equiparables con el puente Román en la ciudad de Cartagena.

También la agresión del medio ambiente, macroclima, microclima y clase de exposición de la estructura son diferentes.

Estudio en la India que lleva como título “Non Destructive Testing of Bridge Pier - a Case Study” (Ensayos No Destructivos de Puente Pier - un estudio de caso).

Dicho estudio fue realizado por Rama Seshu D. y Dakshina Murthy N.R. Para un Instituto Nacional de Tecnología, Warangal, India

De los documentos consultados y presentados en el presente trabajo se puede concluir que la metodología de inspección visual que es usada para la caracterización de los daños presentes en cada puente de los artículos anteriores es la que se utilizará para el levantamiento de daños en la inspección por elementos contemplados en la metodología presente en este trabajo de grado.

Así mismo, se hace un paralelo con la metodología usada en el segundo artículo citado, el cual hace referencia a un estudio de vulnerabilidad sísmica que se hizo a un puente en la India, el cual se desarrolla por medio de ensayos no destructivos, uno de estos es el ensayo del martillo de rebote, el cual mide la resistencia del concreto. Esta metodología también se usará para medir la resistencia del concreto en los elementos del puente Román.

Del entorno nacional consultado, el estudio que comprende el puente de Honda – Tolima a pesar de que contempla ensayos no destructivos, no cuenta con una metodología específica que contemple los ensayos no destructivos implementados en el presente proyecto, es decir

son otro tipo de ensayos los cuales no hacen gran aporte al desarrollo de la metodología seleccionada para el diagnóstico del puente Román.

1.3. MARCO TEORICO

El mundo de hoy requiere de diseños estructurales más realistas desde el punto de vista de durabilidad. Es menester tener claro como el medio ambiente, el aumento de las cargas y los fenómenos naturales afectan a las estructuras para así maximizar su vida útil y economizar en costos de mantenimiento y/o rehabilitación asegurando la integridad de las personas.

Evaluar y diagnosticar, son los pasos más importantes en el estudio de vulnerabilidad patológica de cualquier estructura, ya que si da un adecuado diagnóstico del problema se le dará correcta solución a las patologías causantes del problema y se definirá la intervención necesaria, por ello es importante tener claro los siguientes conceptos:

1.3.1. Puentes

“Estructuras capaces de intersectar un nuevo flujo con uno existente sin que se interrumpa ninguno de los dos. El puente ideal pasa por desapercibido.” (Rivva L. , 2006)

1.3.1.1. Puente isostático

Se denomina "puente isostático" a aquel cuyos tableros son estáticamente independientes uno de otro y, a su vez, independientes, desde el punto de vista de flexión, de los apoyos que los sostienen. (Miliarium, 2008)

1.3.1.2. Puente tipo viga

Los puentes tipo viga constituyen el esquema estructural más simple. En este tipo de puentes, las cargas principales de la superestructura se transmiten a la subestructura a través de los apoyos como reacciones verticales. Los esfuerzos primarios en los puentes tipo viga son de flexión. (Miliarium, 2008)

1.3.2. Superestructura

La superestructura o conjunto de tramos que salvan los vanos situados entre los soportes. Cada tramo de la superestructura está formado por un tablero o piso, una o varias armaduras de apoyo y por las riostras laterales. El tablero soporta directamente las cargas dinámicas y por medio de la armadura transmite las tensiones a pilas y estribos. (Miliarium, 2008)

1.3.3. Subestructura

Son los elementos que soportan la superestructura, ésta está formada por:

- Las pilas: Son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin asientos, ser insensibles a la acción de los agentes naturales (viento, riadas, etc.).
- Los estribos: situados en los extremos del puente sostienen los terraplenes que conducen al puente. A veces son reemplazados por pilares hincados que permiten el desplazamiento del suelo en su derredor. Deben resistir todo tipo de esfuerzos por lo que se suelen construir en hormigón armado y tener formas diversas.
- Los cimientos o apoyos de estribos y pilas: encargados de transmitir al terreno todos los esfuerzos. Están formados por las rocas, terreno o pilotes que soportan el peso de estribos y pilas. (Miliarium, 2008)

1.3.4. Tablero

Un tablero o piso soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico) y por medio de las armaduras transmite sus tensiones a estribos y pilas, que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan en la roca o en el terreno circundante. (Miliarium, 2008)

1.3.5. Estribo

Los estribos son un tipo particular de muros de contención que sirven de apoyo a la superestructura del puente. El estribo debe ser capaz de mantener el cauce estable y la vez contener el terraplén. (Universidad de Piura, 2006)

1.3.6. Elementos de enlace

Son elementos no estructurales que transfieren las fuerzas de la superestructura a la subestructura, estas por lo general son metálicos, concreto o almohadillas de neopreno. (España Moratho, 2013)

1.3.7. Taludes de aproximación

Son elementos compuestos por muros de contención rellenos de material seleccionado que permiten el acceso al puente. (Das, 1999)

1.3.8. Durabilidad de una estructura de concreto

Se puede definir como su estabilidad en el tiempo, sin alteraciones fundamentales en su comportamiento, es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir durante la vida útil para la que ha sido proyectado la acción del medio ambiente que lo rodea; los ataques, ya sea químicos, físicos o biológicos, la acción de la corrosión y/o cualquier otro proceso de deterioro a los cuales puede estar expuesto (Rivva L. , 2006)

1.3.9. Patología

La Patología del Concreto se define como el estudio metódico de las características de las “enfermedades” o los deterioros que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y reparaciones. En conclusión, es la interpretación de aquellos signos o “síntomas” que presentan las estructuras de concreto para evaluar las causas posibles del problema y dar diagnóstico del deterioro. (Rivva L. , 2006)

El concreto durante su vida de servicio, sufrirá daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Estos daños pueden ser consecuencias de malas prácticas concebidas desde la fabricación del concreto creando “enfermedades congénitas”; otros pueden ser por ataques durante alguna etapa de su vida útil; y otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas de daño más comunes son manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa u otros.

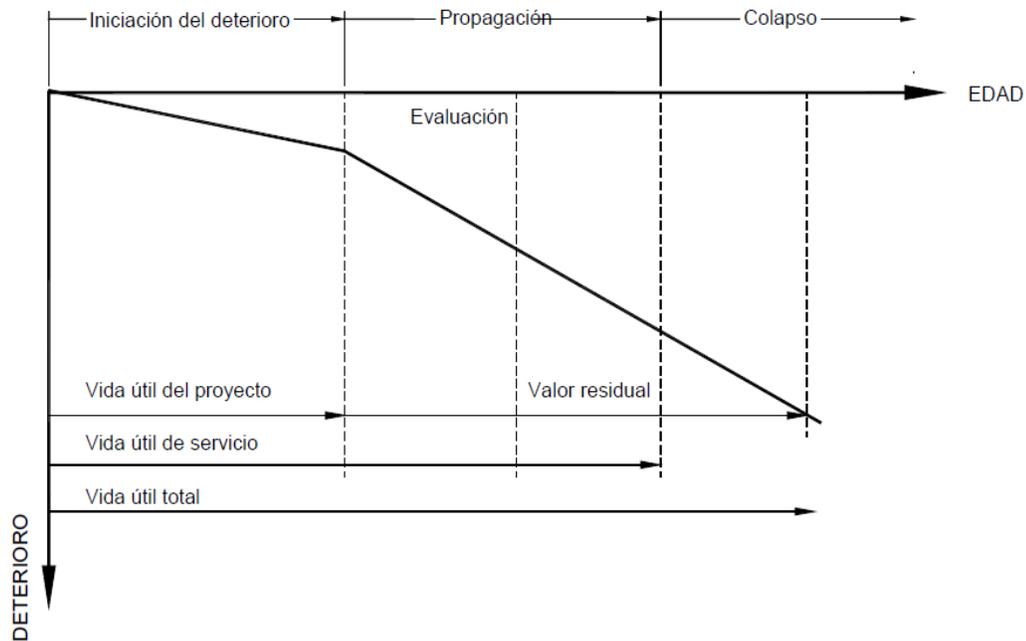
1.3.10. Vida útil.

Es el período previsto para que un mecanismo de daño, o un agente agresor, dé inicio al deterioro del concreto, habiéndose vencido la barrera de protección, pero sin que aún se haya iniciado el debilitamiento de la estructura. (Rivva L. , 2006) Se define como vida útil de servicio al período desde la ejecución de la estructura hasta que se complete un nivel aceptable de deterioro. La vida útil de servicio coincide con la fase de propagación del daño. En esta etapa se empiezan a evidenciar síntomas de deterioro tales como fisuras, desprendimientos del recubrimiento, manchas de óxido, exposición del agregado, entre otros. Desde el punto de vista de funcionalidad y aspecto estético, para algunas estructuras, el simple hecho de presencia de humedades, descascaramientos del recubrimiento, olores y presencia de hongos, será suficiente para considerar que se agotó el nivel aceptable de deterioro.

Se define como vida útil total o límite de fractura al período que va desde que se inicia la ejecución de la estructura hasta que se presenta un colapso total o parcial como consecuencia de los mecanismos de daño.

Vida útil residual. Si durante la vida en servicio de una estructura tiene lugar una evaluación con su correspondiente diagnóstico, se podrá determinar, con alguna aproximación, la vida residual de la estructura. Si la estructura se rehabilita (es decir, se sana, repara, refuerza y protege, ejecutando las anteriores acciones, las que se estimen necesarias), se origina una nueva vida útil de proyecto, cuya extensión dependerá del tipo de rehabilitación efectuada y de la calidad de los materiales usados. (rrueda, 2013)

Imagen 13. Curva de vida útil de la estructura.



Tuutti, K "Corrosion of steel in concrete" Report 4.82, Cement and Concrete Association, Stockholm, 1982.

Fuente: Rivva L. , 2006.

1.3.11. Evaluación.

La evaluación es el proceso de determinar si una estructura o uno de sus componentes son adecuados 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. (Rivva L. , 2006)

1.3.12. Diagnóstico

El diagnóstico de las lesiones de un puente consiste en un estudio previo a toda intervención estructural, consiste en la recopilación de información del estado de cada uno de los elementos del puente, sus lesiones y sus patologías. Dicho diagnóstico se basa en los siguientes aspectos: Tipo de daño, descripción del daño, posibles causas del daño, nivel de severidad, medición, intervención recomendada, con ello se llegan a unas conclusiones e hipótesis.

Para el nivel de severidad de los daños de los componentes de los puentes, se recomienda emplear la escala cualitativa que contiene el módulo de inspección principal del Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL), que es la que en la actualidad es usada por el Instituto Nacional de Vías. (UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA, 2010)

1.3.13. Ambiente muy severo

Son ambientes que incluyen zonas de salpicaduras o sumergidas en agua de mar con una cara expuesta al aire; elementos en aire saturados de sal; ambientes con agua de mar y hielo; exposición directa a: líquidos con pequeñas cantidades de ácidos, ambientes salinos o aguas fuertemente oxigenadas; gases agresivos o suelos particularmente agresivos; y, ambientes industriales muy agresivos, en la Tabla 1 se muestra la escala de calificación. (Sánchez de Guzmán, 2002).

Tabla 1. Escala de calificación de los componentes de los puentes.

Calificación	Descripción
0	Sin daño o con daño insignificante
1	Daño pequeño, pero no se requiere reparación
2	Existe daño, el componente funciona como se diseño
3	Daño significativo, se requiere pronta reparación
4	Daño grave, se necesita inmediata reparación
5	Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente
¿	Desconocida

Fuente: INVIAS-UNAL, 2006.

1.3.14. Amenaza

Probabilidad de que ocurra un evento, en espacio y tiempo determinados, con suficiente intensidad como para producir daños. (Sánchez de Guzmán, 2002)

1.3.15. Vulnerabilidad

Es la predisposición intrínseca de un elemento a sufrir daños por motivo de un fenómeno de intensidad concreta, es decir, ante un peligro concreto. Si se considera que el elemento puede sufrir daños, debe entenderse como elemento vulnerable o elemento especialmente vulnerable, en función de la respectivamente menor o mayor vulnerabilidad intrínseca. (Sánchez de Guzmán, 2002)

1.3.15.1. Vulnerabilidad sísmica

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. Esta propiedad 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. (Universidad de Piura, 2006)

1.3.15.2. Vulnerabilidad estructural

Se refiere a que tan susceptible a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ellas y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura. Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, etc. (Universidad de Piura, 2006)

1.3.15.3. Vulnerabilidad no estructural

Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc, mientras que la estructura permanece en pie. (Universidad de Piura, 2006)

1.3.15.4. Vulnerabilidad funcional.

Un estudio de vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de una estructura a sufrir un “colapso funcional” como consecuencia de un sismo. Esta es solo visible en el momento que ocurre una emergencia. A fin de determinar en esta tercera etapa la vulnerabilidad funcional, se evalúa lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica. (Universidad de Piura, 2006).

1.3.15.5. Agresividad del medio ambiente.

El clima local que rodea a la estructura y el microclima próximo a la superficie de ésta ejercen una influencia decisiva en la durabilidad. Para hacer un diseño por durabilidad, se debe clasificar el medio ambiente presente en la obra, el cual puede ser ligero, húmedo. (Universidad de Piura, 2006).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el estado actual de la estructura del Puente Román, a través de un diagnóstico patológico realizado mediante inspecciones visuales y ensayos no destructivos, con el fin de plantear una propuesta de intervención para su mantenimiento y rehabilitación.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer un levantamiento topográfico de la ubicación del puente Román.
- Identificar mediante inspecciones visuales los principales daños presentes en la superestructura y subestructura del puente Román.
- Diagnosticar, evaluar y caracterizar las patologías presentes en el puente Román.
- Determinar mediante ensayos no destructivos la resistencia actual del puente Román.
- Hacer una evaluación del estado de la capa de rodadura
- Construir un mapa de daños del puente Román.
- Elaborar una propuesta de intervención para el mantenimiento y rehabilitación del puente Román.

3. ALCANCE

3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El proyecto de investigación se desarrolló en el puente Román el cual está ubicado sobre la confluencia acuática de la Bahía Interna de Cartagena con la Laguna de San Lázaro, junto al Baluarte San Lorenzo del Reducto, más exactamente sobre en la Calle 25 entre el sector de Getsemaní y el barrio Manga en el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena, Colombia, delimitado por sus coordenadas 10°25'02.7" Latitud Norte y 75°32'40.4" Longitud Oeste. El ambiente presente es muy severo de tipo salino con mareas bajas, temperatura promedio de 33°C y los accesos y el puente están a 2 y 0 metros sobre el nivel del mar respectivamente.

Imagen 14. Ubicación Geográfica del Puente Román.



Fuente: Google Earth, 2014, modificado por Autores (captura en sitio), 2014.

El puente Román puede ser divisado desde diversos ángulos a la redonda, donde se puede apreciar con claridad las 5 luces que lo conforman, en la siguiente fotografía la toma fue hecha desde el castillo de san Felipe de Barajas.

Imagen 15. Panorámica vista del puente Román desde el Castillo San Felipe de Barajas.



Fuente: Mejía , 2010.

En la panorámica se resalta la ubicación del puente en la confluencia acuática de la laguna de San Lázaro y la bahía interna de Cartagena de Indias.

Imagen 16. Vista desde un sobre vuelo sobre el Centro Histórico de la ciudad de Cartagena de Indias.



Fuente: Mejía , 2010.

3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El estudio se realizó a partir de visitas de campo efectuadas en horas y días acordados con el asesor de trabajo de grado Ing. Walberto Rivera, las cuales están plasmadas en el cronograma de actividades, durante el segundo periodo académico del año 2014. Para ello se cuenta con un cronograma de actividades para llevar un orden en el tiempo de ejecución de las actividades.

3.3. ALCANCE

Los trabajos planteados para el desarrollo del presente documento abarcan estudios de la superestructura y la subestructura, estos a su vez se caracterizan por dos tipos de estudios que engloban las variables cuestionadas en la formulación del problema, los cuales se enumeran a continuación:

- Un estudio hecho mediante una inspección visual con el fin de generar una información general primaria comprendida por la caracterización del puente, evaluación general de los daños de la superestructura y subestructura, levantamiento y cuantificación de los daños, y jerarquización de estos según el grado de complejidad, además, se hará un informe general mostrando la descripción de los daños encontrados en toda la estructura, los diferentes daños observados en sus elementos.
- Un estudio técnico que se limita a ensayos no destructivos para el chequeo del estado estructural, su resistencia y diseños estructurales, y un levantamiento de daños en la capa de desgaste o rodadura desde el punto de vista de conservación vial. Se pretende efectuar con mucho detalle la práctica de este tipo de ensayos en campo (no destructivos) en la presente Investigación los cuales se realizarán en cada elemento con equipos especializados descritos en la metodología para tal fin, estos los proveerá la Universidad de Cartagena.

Los resultados buscados son fallas, colapsos y patologías que atenten con la integridad de la estructura, para así generar un diagnóstico patológico para la finalidad de esta propuesta que es generar una posible intervención.

Se esperan resultados desfavorables para la estructura debido a que no se le ha hecho restauración al puente durante un largo periodo de tiempo, teniendo presente que la durabilidad del concreto está presente durante un cierto periodo de tiempo, es decir, su vida útil, la cual se define como capacidad para resistir la acción del medio ambiente, por lo anterior, lo más probable es que existan en el concreto ataques de sulfatos, intemperismo, carbonatación, desgaste de la capa de rodadura, entre otras patologías.

Los resultados probables debido a que el ambiente al cual está expuesta la estructura en cuestión es muy severo podrían presentarse ataque de sulfatos y corrosión por efectos de la carbonatación, también fallas por esfuerzos cortantes en uno de los estribos del puente debido a una gran grieta presente en este elemento. (Sánchez de Guzmán, 2002)

El diagnóstico de las patologías encontradas se presentará en un informe como producto final de la investigación, este contemplará los resultados y detalles de cada ensayo, pruebas y levantamientos efectuados en campo, descripción de la evaluación hecha a cada elemento y explícita redacción del diagnóstico hecho. Como resultado final se presentará una propuesta de intervención que será a su vez la solución a los problemas encontrados en la estructura y propósito de esta investigación.

La investigación desarrollada en el presente documento sirve como documento guía para futuras investigaciones de carácter académico en pregrado, posgrado y profesional; pues este estará dotado de toda la información y metodología necesaria para desarrollar proyectos que involucren evaluación y diagnóstico de patologías presentes en puentes.

Este proyecto no contempla con pruebas destructivas por las incidencias que puede tener este tipo de ensayos en la movilidad de la ciudad y por no poseer los permisos por parte del distrito

para efectuar este tipo de pruebas en obras públicas, es decir extraer núcleos para realizar estas pruebas para el chequeo de la resistencia de los materiales por ejemplo: dentro de los ensayos NO destructivos, no se hará el ensayo de ultrasonido que sirve para medir fisuras, espesor del concreto entre otras variables, puesto que la universidad de Cartagena no cuenta con la dotación de este tipo de equipos y conseguir uno en el mercado resulta muy costoso para el presupuesto con el que cuenta el grupo de investigadores. La idea principal desde que se dio inicio a la investigación es formular un diagnóstico para hacer una propuesta de intervención con base a los resultados obtenidos.

4. METODOLOGÍA

En el desarrollo de la evaluación y el diagnóstico para la propuesta de intervención de la estructura del puente Román, clasificada como una investigación mixta, abarcó tanto la estructura del puente como sus accesos. El estudio se llevó a cabo entre los meses de julio y finales del mes de septiembre como requisito para optar al título de ingeniero civil de la Universidad de Cartagena.

La parte descriptiva del cuerpo del documento comprendió una identificación, visualización, toma de datos y anotaciones sobre los fenómenos patológicos presentes, mediante diversas visitas de campo al puente en estudio en las que se hicieron las inspecciones visuales y ensayos no destructivos; por otro lado, la parte explicativa comprende los análisis del trabajo de campo, es decir, todo aquello que permitió esclarecer las causas de los daños en la estructura y así finalmente tener las bases y el discernimiento para sugerir propuestas para su mantenimiento y/o rehabilitación.

La metodología que se usó para el desarrollo de los objetivos propuestos se indica detalladamente en las siguientes etapas, en las cuales se identifican las fuentes de información, los datos y técnicas de recolección y procesamiento de éstos, así como también, los recursos e instrumentos de recolección de información que se usaron.

4.1. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El día 13 de septiembre de 2014 a las 14:00 horas se realizó un levantamiento topográfico planimétrico del puente. Para ello se usó GPS y cinta métrica. La metodología consistió en marcar un primer punto al inicio del puente (accesos), luego de esto, se activó el GPS en modo de ruta y se inició un recorrido ida y vuelta en el área de estudio, a medida que se avanzaba en el proceso, se tomaron medidas del ancho de la calzada y andenes con la cinta métrica. Al finalizar el levantamiento se tomaron puntos de referencia del área para un mejor

emplazamiento de la estructura. Luego de tener los datos de campo se hizo el esquema general en planta por medio del software AutoCad.

4.2. INFORMACIÓN SECUNDARIA

4.2.1. Observaciones de campo y verificaciones.

Se hizo una solicitud formal al EDURBE para conseguir los planos estructurales del puente, se obtuvieron los planos de ubicación en planta, detalles de la zona peatonal, barandas e iluminación, secciones de vigas, cimentaciones, pilas y losas. Con este material se procedió a hacer una visita de inspección al puente, en esta se compararon detalladamente la parte de diseño y la estructura construida, es decir se hizo un chequeo visual haciendo una comparación de los diseños encontrados en los planos y la estructura en su estado actual al año 2014.

4.3. INFORMACION PRIMARIA

4.3.1. Inspección general

Se hizo una visita a campo el 02 de Agosto de 2014, en ésta, primeramente se hicieron dos tomas fotografías panorámicas, una de perfil y una de la superficie, en las cuales se muestra fecha y hora. Posterior a esto, se procedió a observar detalles generales del puente de la manera como lo estipula el manual de puentes y pontones del INVIAS así: tomando nota de todas las patologías presentes y a su vez haciendo un registro fotográfico, primero se hizo la inspección a los equipamientos y la capa de rodadura, esta se hizo mediante un recorrido a pie por la superficie del puente, posteriormente se inspecciono la superestructura, aquí se observaron las vigas longitudinales, identificando número, tipo y sección transversal de éstas, y el estado en que se encontraban, también por la parte inferior del puente se observó el tablero y se detallaron algunos daños por construcción. Seguidamente se procedió a la inspección de los elementos de la subestructura, se empezó observando los estribos y las aletas, seguidamente los apoyos internos, para observar los apoyos internos ubicados dentro del cauce, se usó una lancha convencional que se tomó en alquiler en la empresa Transportes Bahía mientras se hacia la inspección de dichos elementos, en dicha inspección se hizo un registro fotográfico y se tomó nota de los detalles de los daños encontrados que sirvieron

para la planificación de la inspección por elementos Finalmente se inspecciono el cauce, en este se evaluó el flujo y dirección de la corriente, también la variación de los niveles de agua y que tan severa se presentaba la marea en el lugar.

Esta actividad permitió el reconocimiento del puente en general, tipo de puente, sistema constructivo y el estado actual en que se encuentra. Por último se hizo un monitoreo del comportamiento de la estructura ante el paso de vehículos de carga mayor, esto se hizo observando por 20 minutos en la parte superior del puente el paso de éstos. Luego de lo anterior, se registraron en el formato de captura del manual de inspección de puentes y pontones del INVIAS los aspectos que fueron observados durante la visita de campo, tales como el tipo de puente, obstáculo que salva y las patologías que presenta la estructura y la ubicación de éstas, también se registraron las vibraciones percibidas al paso de vehículos grandes, así como también los detalles de usos inadecuados de los elementos de la estructura, detalles sobre medio ambiente y entorno que rodea la estructura. Además dicha visita preliminar sirvió para observar deflexiones y de desplazamientos.

4.3.2. Inspección por elementos

Esta actividad se hizo el día 29 de agosto de 2014, en ésta se revisó cada elemento y se tomó nota de todas las patologías presentes y las dimensiones de las mismas, usando un flexómetro y una regla de 30 cm para medir fisuras y tomarlo como escala para el registro fotográfico que de manera simultánea se hizo. Se procedió primeramente por los detalles de la superestructura y equipamientos y luego la subestructura y elementos de enlace. La inspección de los elementos de la superestructura se hizo mediante un recorrido por la parte inferior, en donde se observaron las vigas los daños en vigas longitudinales, vigas riostras y detalles en el tablero, así mismo se recorrió la superficie, tomando nota y medidas de los daños, grietas e imperfecciones encontradas en los andenes, barandas y equipamientos de éste.

Para la inspección en la subestructura se dio inicio observando los estribos y las aletas, en estas se tomó registro de los daños y patologías presentes, como también la medida de las

grietas encontradas, después se inspeccionaron los apoyos internos, los cuales obedecen a cuatro pilas porticadas ubicadas una en tierra y tres dentro del cauce. Primero se procedió inspeccionando la pila en tierra, la cual se revisó tomando nota de lo observado, luego se procedió a la evaluación de las otras tres; En esta etapa se usó también una lancha convencional igual a la que se usó en la inspección general, de igual forma se tomó en alquiler a Transportes Bahía, en esta etapa se hizo necesario bajar en cada pila e inspeccionar, evaluar, tomar nota y registro de las medidas de las fisuras encontradas en el pórtico, esto se hizo en un tiempo de 15 min aproximadamente por pila, de todo el proceso se hizo registro fotográfico de cada detalle en la inspección.

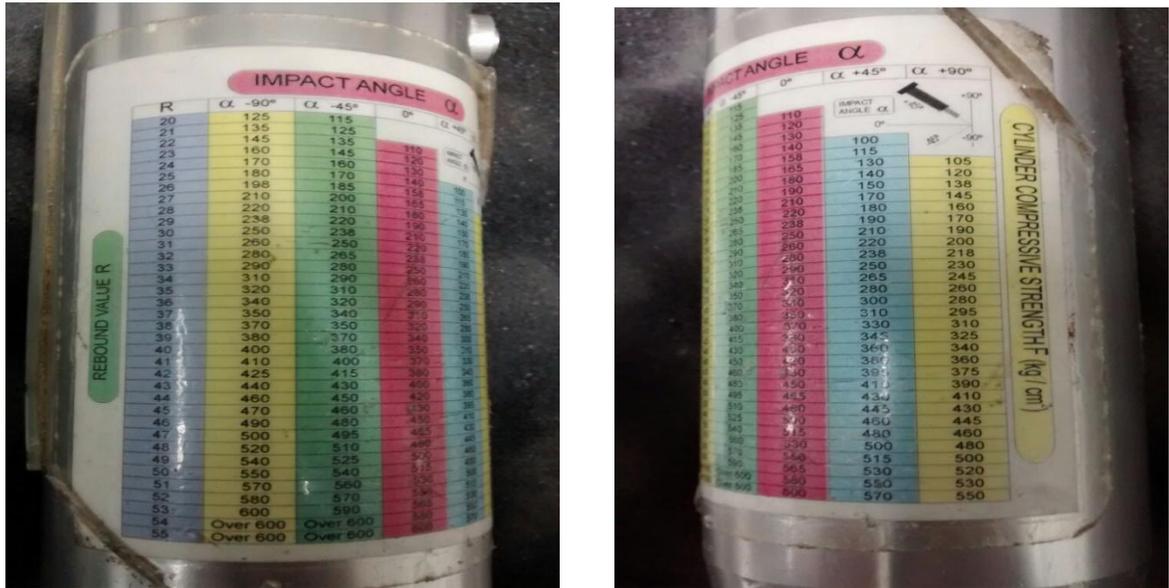
En todo el proceso se fue haciendo el inventario de daños en el Formato para Inspección Visual de puentes y pontones de INVIAAS según los parámetros y convenciones determinados en el capítulo 2 de este documento. (Ver Anexo 1)

4.3.3. Ensayos no destructivos.

Se hicieron dos tipos de ensayos no destructivos sobre los elementos del puente que presentaron daños considerables durante la inspección por elementos. Los ensayos corresponden a la prueba del martillo de rebote que mide la resistencia a la compresión del concreto endurecido y la prueba de la fenolftaleína, la cual permite observar si el concreto está afectado por carbonatación.

4.3.3.1. Ensayo del martillo de rebote

Este ensayo se hizo el 13 de septiembre de 2014, éste se hizo con un equipo llamado esclerómetro, el ensayo consistió en hacer una cuadrícula de 12 puntos, los cuales se pulieron con una piedra que trae el equipo para homogeneizar la superficie, luego de esto se hicieron impactos en cada punto y se tomaron las lecturas, luego de esto se sacó un promedio de todos los valores, con éste valor se entra en la tabla de conversión del equipo (ver Fotografía 1) y teniendo en cuenta el ángulo a la cual se hace la lectura se busca en la tabla la resistencia en kg/cm^2 , posterior a esto se hace la conversión a PSI.



Fotografía 1. Tabla para determinar la resistencia del concreto con base a al valor de lectura del esclerómetro.

Este procedimiento se hizo para las vigas longitudinales del primer y último claro (en sentido del abscisado), vigas riostras en los estribos y todos los apoyos, externos (estribos) y apoyos internos (pilas), en los apoyos internos por tratarse de un pórtico se hizo el ensayo a cada columna y vigas cabezales.

4.3.3.2. Ensayo de la fenolftaleína

Este ensayo se hizo el 28 de septiembre de 2014, Este ensayo tuvo como objetivo determinar la profundidad que ha alcanzado el frente de carbonatación en el concreto de los elementos estudiados. El proceso consistió primeramente en conseguir la solución indicadora de fenolftaleína, ésta fue preparada en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la universidad de Cartagena. Para preparar la solución se buscó en la web la metodología para tal fin, en consecuencia se usó un artículo de la Universidad Nacional que proporcionaba tal información, luego de esto se hizo el proceso en el laboratorio.

La solución indicadora se hizo con una concentración al 1%, se prepararon 1000 g de esta solución, en la cual se disolvieron 10 g de fenolftaleína en polvo en 500 g de agua destilada

y 490 g de alcohol puro (etanol), esto se hizo en un balón aforado. Una vez obtenida la solución se transfirió a un rociador para una aplicación uniforme sobre el concreto a evaluar. (Universidad Nacional de Colombia, 2010)

El ensayo se llevó a cabo únicamente en los apoyos interiores, más específicamente en columnas, vigas de amarre y cabezales de los cimientos de las pilas. El proceso que se llevó a cabo durante el ensayo fue el siguiente: las columnas tenían grietas considerables lo que generó pequeños desplomes en las columnas debido al impacto del esclerómetro y en otra ocasión solo se tuvo que dar un pequeño golpe con un martillo, una vez con este concreto interior expuesto se pudo hacer el ensayo sobre esta superficie como lo especifica el documento citado, se roció la solución indicadora de fenolftaleína y se esperó 1 min para ver el resultado, este proceso se hizo en todos los elementos que se ensayaron.

4.4. Inspección visual y Evaluación de los deterioros del pavimento asfáltico.

Se hizo el día 03 de septiembre de 2014, la metodología constó de una inspección visual en la cual se hizo el levantamiento e inventario de los daños presentes en el pavimento asfáltico, este proceso consistió en demarcar un abscisado en el pavimento a partir de un PR (punto de referencia) cada 10 metros para el registro y demarcación de los daños, éste se adelantó en sentido sur este – noroeste (de manga hacia Getsemaní) usando una tiza. La actividad se desarrolla mediante una técnica no invasiva y se hizo en dos etapas, la primera fue la Planificación en donde se definió el día y se organizaron las tareas por realizar, definiendo temas tales como la longitud del tramo por estudiar, la programación, y la cantidad requerida de personal; la segunda etapa fue el Levantamiento de Deterioros donde se hizo la caracterización de éstos mediante una identificación, medición y determinación del nivel de gravedad. El proceso se hizo mediante un recorrido a pie por toda la capa de rodadura del puente incluyendo taludes de aproximación y ambos carriles, a medida de que avanza se fueron identificando los tipos de deterioros para cada abscisa y se tomaron las medidas correspondientes a cada daño y respecto de las dimensiones del daño así era determinado su nivel de gravedad (ver

Tabla 3 y Tabla 4); en todo el proceso se hizo un registro fotográfico de los daños encontrados y su medición. En el proceso de la recolección de información correspondiente al inventario de los deterioros del pavimento, se usaron los formatos de captura de daños del anexo B del manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, los cuales permitieron registrar los deterioros presentes en el pavimento asfáltico, así como los tipos de deterioros.

Los deterioros en los pavimentos asfálticos se clasifican para esta actividad en deterioros del Tipo “A”, que caracterizan la condición estructural del pavimento y los deterioros del Tipo “B”, en su mayoría de tipo funcional, éstos se definen en las tablas que ilustran el tipo de deterioro y el nivel de gravedad (ver tablas Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4) de cada tipo de deterioro esto se usó para llenar los formatos de captura B2, B3 y B4 (ver Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4).

Luego de diligenciarse los formatos, B2 (Resumen deterioros tipo "A" en pavimentos asfálticos para carreteras), B3 (Resumen deterioros tipo "B" en pavimentos asfálticos para carreteras) y B4 (Cálculo del Is por secciones de 10 metros), de acuerdo a la magnitud del Índice de Deterioro Superficial (Is) hallado en el formato B4 se entra a la Tabla 2 y se determina así de manera cualitativa la calidad del pavimento flexible. Seguido de esto se procedió a realizar el mapa de daños sobre el plano en planta del Puente (ver página 86)

Tabla 2. Agrupación del Is en categorías como variable cualitativa

CATEGORÍA	Is
Condición buena	1 - 2
Condición marginal	3 - 4
Condición deficiente	5 - 6 - 7

Tabla 3. Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo A

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	①	②	③
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante Prof < 20 mm	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos. 20 mm ≤ Prof ≤ 40 ≤ mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios. Prof > 40 mm
Fisuras longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la huella de rodamiento. <6 mm	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas.	Fisuras muy ramificadas, y/o muy abiertas. Bordes de fisuras ocasionalmente degradados.
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas (> 500 mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales.	Mallas más densas (<500mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (<200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales.
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros tipo B.	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación.	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas.

Tomado de Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carretera.

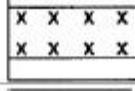
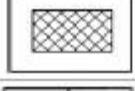
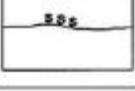
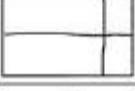
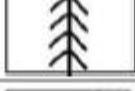
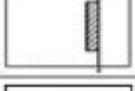
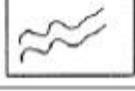
Tabla 4. Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo B

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD					
	①		②		③	
Fisura longitudinal de junta de construcción	Fina y única < 6 mm		- Ancha (≤ 6 mm) sin desprendimiento o - Fina ramificada		Ancha (≤ 6 mm) con desprendimientos o ramificada	
Fisuras de contracción térmica.	Fisuras finas < 6 mm		Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimiento, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Fisuras parabólicas.	Fisuras finas < 6 mm		Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimientos		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Fisuras de borde	Fisuras finas < 6 mm		Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimientos		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Abultamientos	h < 20 mm		20 mm ≤ h ≤ 40 mm		h > 40 mm.	
Ojos de pescado*(por cada 100 m)	Cantidad.	< 5	5 a 10	< 5	> 10	5 a 10
	Diámetro (mm)	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300	≤ 1000
Desprendimientos: - Pérdida de película de ligante. - Pérdida de agregado	Pérdidas aisladas		Pérdidas continuas		Pérdidas generalizadas y muy marcadas	
Descascaramiento	Prof.(mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25	
	Área(m ²)	≤ 0.8	> 0.8	≤ 0.8	> 0.8	
Pulimento agregados	Long. Comprometida < 10% de la sección (100m).		Long. Comprometida ≥ 10% a < 50% de la sección (100m)		Long. Comprometida > 50% de la sección (100m)	
Exudación	Puntual, área específica		Continúa sobre las trayectorias por donde circulan las ruedas del vehículo.		Continua y muy marcada, en diversas aéreas.	
Afloramientos: - De mortero - De agua	Localizados y apenas perceptibles		Intensos		Muy intensos	
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración, sectores localizados		La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más.		Erosión extrema que conduce a la desintegración del revestimiento asfáltico	
Escalonamiento entre calzadas y berma	Desnivel entre 10 mm a 50 mm		Desnivel entre 50 y 100 mm		Desnivel superior a 100 mm	
Erosión de las bermas	Erosión incipiente		Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios.	
Segregación	Long. comprometida < 10% de la sección (100 m).		Long. comprometida ≥ 10% a < 50% de la sección (100 m)		Long. comprometida > 50% de la sección (100 m)	

Tomado de: Guia Metodologica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carretera.

Con ayuda de estas convenciones se procedió a elaborar el mapa de daños.

Tabla 5. Convenciones mapa de Daños

Ahuellamiento		Pérdida de película de ligante	
Depresiones o hundimiento longitudinal		Pérdida de agregado	
Depresiones o hundimiento transversal		Descascaramiento	
Fisuras piel de cocodrilo		Pulimento de agregados	
Bacheos y parcheos		Exudación	
Fisuras longitudinales de junta de construcción		Afloramiento de mortero	
Fisuras transversal de junta de construcción		Afloramiento de agua	
Fisura de contracción térmica		Desintegración de los bordes del pavimento	
Fisuras parabólicas		Escalonamiento entre calzada y berma	
Fisuras de borde		Erosión de bermas	
Ojos de pescado		Segregación	
Abultamiento o desplazamiento de la mezcla			

Tomado de: Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carretera.

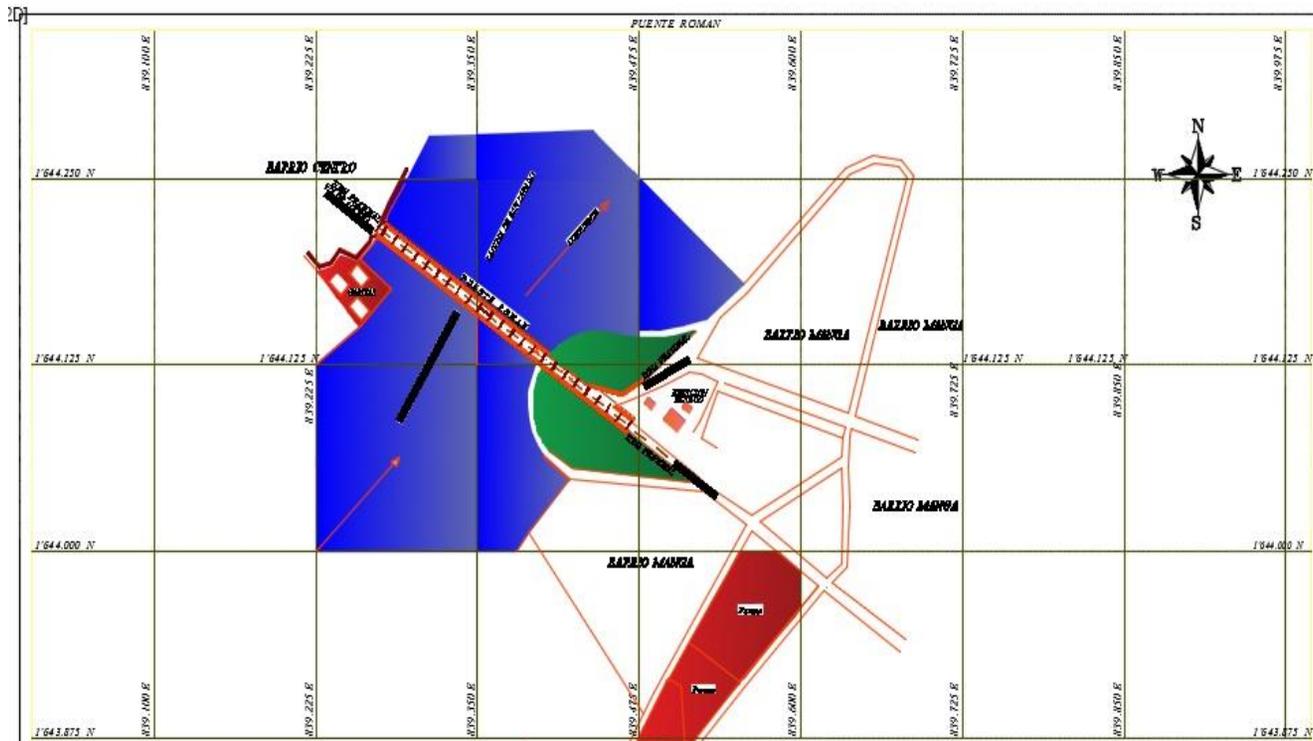
5. RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO

5.1. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El puente Henrique Román se encuentra entre el barrio Manga y el sector de Getsemaní, más exactamente sobre la calle 25 (calle real) de la isla de manga en la ciudad de Cartagena de indias, está delimitado por las coordenadas 10°25'02.7" Latitud Norte y 75°32'40.4" y salva el obstáculo de la confluencia acuática de la laguna de san lázaro y la bahía grande de Cartagena; el flujo y las corrientes de vientos están en sentido sur – norte. Se encontró que el puente sirve como solución vial vehicular y peatonal al cruce de dichos cuerpos de agua y como solución de la intersección del flujo vehicular en ese punto. En el extremo que colinda con el barrio Manga, el puente funciona como viaducto ya que debajo de éste también cruzan vehículos terrestres, pero en su mayor parte es una solución del tráfico del transporte acuático liviano, se puede evidenciar que en este punto se interceptan flujos sin que ninguno se interrumpa, haciendo de éste puente una gran obra de ingeniería en la ciudad.

Como resultado del levantamiento topográfico se obtuvo que el puente consta de 4 luces para una longitud total del puente de 236 metros, el galibo es de 8 metros. La pendiente longitudinal está dividida en 2, la primera desde el acceso en Manga hasta la mitad del puente es de 6.5% y desde aquí al acceso en Getsemaní es de 7.0%. Se midieron las dimensiones de Calzada, la cual tenía 3,5 metros de ancho por carril y andenes de 2,10 metros de ancho en ambos sentidos.

Después de tener todos los datos de campo, abscisas, coordenadas, puntos de referencia y dimensiones de la estructura se procesaron éstos datos en el software AutoCAD se hizo el esquema general en planta el cual incluye, abscisado en metros, obstáculo que salva, tipo de puente y el sentido de la corriente, y como resultado se presenta el plano que se presenta en el levantamiento general en planta.



5.2. INFORMACION SECUNDARIA

Después de hacer la inspección comparativa entre los planos conseguidos en el EDURBE y el puente se constató que el número de vigas longitudinales y su sección transversal no coincidían con los diseños encontrados en los planos, pues en los planos se especifican 7 vigas todas de sección variable, mientras que el puente consta de 5 vigas, 3 interiores postensadas de sección variable y dos exteriores postensadas de sección constante. Por otra parte, se corroboró el diseño de la superficie y equipamientos, en donde se evidencia que si está construida de acuerdo a los planos, como también los estribos y las pilas porticadas.

5.3. INFORMACION PRIMARIA

5.3.1. Inspección general

Como resultado de la inspección general se presentan las fotos panorámicas de perfil y de la superficie, en estas se evidencia el constante flujo de vehículos, peatones y embarcaciones de todo tipo. (Ver Fotografía 2).

En segunda instancia se observaron los detalles de la superficie y equipamientos en los que se detallaron fallas por envejecimiento, las cuales se aprecian por desgaste de concreto en las barandas peatonales con desalineamientos, grietas y fisuras, también se evidenció la falta de postes de la iluminación y mal estado de los existentes; respecto a la capa de rodadura se presenció un evidente desgaste de ésta, respecto las juntas de dilatación térmica ninguna está funcionando al 100% por lo cual se presencia abultamiento en el pavimento de esta zona, también se observó mal estado de los guardacantos, los cuales están desportillados y con el acero de refuerzo descubierto.

El inspeccionar la subestructura se observaron fallas por mal uso de la estructura tales como comportamientos y conductas humanas que involucran actividades como la quema de basuras y necesidades fisiológicas; en cuanto a los elementos de enlace, las bandas de neopreno en su mayoría han colapsado, notando en ellas daños por aplastamiento, partidura y desgaste.

En el monitoreo del comportamiento de la estructura ante el paso de vehículos de gran dimensión como buses y camiones con ejes dobles y ejes dobles tándem, se notó se presentaban pequeñas vibraciones perceptibles a los peatones, dando sensación de inseguridad o vértigo, lo cual por ser un puente isostático simplemente apoyado se toma este fenómeno como un comportamiento normal de la estructura.

Además de hacer parte de una solución vial para el tráfico en la ciudad de Cartagena, el puente Henrique Román está situado en un lugar poseedor de majestuosas vistas y hermosos atardeceres, por lo cual turistas llegan hasta la superficie del mismo a tomarse fotos y capturar el bello panorama que ahí se observa, de aquí que se plantee la necesidad de hacer mantenimiento también por el criterio de estética.



Fotografía 2. Fotos panorámicas de perfil y de la superficie del Puente Román.

En cuanto a la superestructura se observó que las vigas longitudinales exteriores que están en la segunda luz en el sentido del abscisado se muestran deterioradas por el impacto de vehículos de mayor dimensión a la permitida por la señalización (ver Fotografía 3); el tablero presenta eflorescencias por la mala construcción de los drenajes de la superficie, estos deben sobresalir 15 cm del borde del tablero; en cuanto a las vigas riostras, se presenció que la

primera viga riostra en sentido del abscisado tiene una grieta transversal en el extremo derecho de ésta, también se notó que no existen topes sísmicos en ninguno de los apoyos.



Fotografía 3. Falla por impacto de vehículo en segunda luz del Puente.

5.3.2. Inspección por elementos.

A continuación una descripción más detallada de los aspectos resumidos en el formato para la inspección visual de puentes y pontones (Anexo 1), sobre los daños encontrados en los diferentes elementos de la Superficie y Equipamiento y Subestructura. Después de revisar cada elemento se registraron todos los detalles, se presenta a continuación una descripción detallada del inventario de daños y las dimensiones de éstos, además el registro fotográfico como soporte del trabajo realizado en campo.

De la superestructura y equipamientos se tienen los siguientes resultados presentados de la siguiente manera:

5.3.3. Superficie del puente y accesos.

La superficie y los accesos del puente Román constan de una carpeta asfáltica, juntas de expansión, andenes embaldosados, barandas en concreto llamadas balaustres, postes de

iluminación y taludes de aproximación para los accesos; La capa de rodadura muestra deterioro, evidenciado por la presencia de ojos de pescado, descascamiento, ahuellamiento, fisuras longitudinales de junta, y pérdida de ligante del asfalto, estos deterioros se detallan en los resultados de la inspección visual para este elemento; las barandas de concreto presentan desalineamientos y fisuras que se detallan a continuación; De los taludes de aproximación se encontró que el primero en sentido del abscisado se encuentra en buenas condiciones y el segundo tiene fallas por socavamiento por efectos de la marea en el concreto ciclópeo que recubre a éste. (Ver Fotografía 14)



Fotografía 4. Socavación de elementos de protección de taludes y estribo N° 2

Una vez obtenida la información de los resultados se comprara con la información encontrada en el libro durabilidad y patología del concreto de Diego Sánchez de Guzmán.

De dicha comparación se concluyeron los diagnósticos de las patologías presentes en los diferentes elementos, a continuación se presenta después de analizar cada resultado el diagnóstico correspondiente.

Diagnóstico

Superficie del puente: De acuerdo a los resultados de la evaluación de los deterioros del pavimento asfáltico, se evidenciaron manifestaciones de daños patológicos como lo son fisuras longitudinales de juntas, transversales de juntas y de contracción térmica, cuyo causante son los gradientes térmicos superiores a los 30°C; también se presentan daños por abultamiento debido a Circulación lenta en pendientes pronunciadas y frenado de vehículos pesados en zonas de juntas; pérdida de la capa de rodadura por causa del descascaramiento de la misma, este problema se da por el envejecimiento del ligante del asfalto; presencia de 1 ojo de pescado en el tramo K0+210 - K0+220, lo que es causado por ligante asfáltico inadecuado o de mala calidad y espesor insuficiente de la capa de rodadura (carpeta); la pérdida de ligante es el problema más común que se evidencia en la evaluación del estado de la calzada, este deterioro se debe al uso de agregados pétreos con tamaño inadecuado y distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas; A causa de esta última patología, se genera a su vez la pérdida de agregado patología presente en diferentes tramos de la superficie (ver Anexo 2). Del cálculo del índice de deterioro superficial (Is), (ver anexo 2) se concluyó que los primeros 200 metros de la superficie del puente presentan un estado marginal acorde a las patologías presentes, el cual permite la circulación de los vehículos pero no de manera confortable, si dichas lesiones no se corrigen podrían presentarse complicaciones en el tráfico debido a degradación total de la capa de rodadura.

5.3.3.1. Juntas de expansión

Las juntas de expansión son de tipo de placa dentada en las cuales se observaron que ninguna está cumpliendo al 100% sus funciones en cuanto a transmisión de cargas verticales y libertad de movimiento horizontal, puesto que la acumulación de desechos y tierra obstruyen el canal de movimiento de abertura y cierre de la junta ocasionando un abultamiento de 5 cm en la

carpeta asfáltica en esta zona a lo largo de todas las juntas. Los guardacantos están en precarias condiciones, evidenciando a simple vista desportillamientos de 1.5 m de longitud y 5 cm de profundidad, también se observó descubrimiento del acero de refuerzo en dos guardacantos, esto último no asegura la continuidad entre la capa de rodadura y las juntas del puente, existe un evidente desnivel de 6 cm, además de esto, se notaron maniobras peligrosas de los autos para tratar de evadir estos daños, y maltrato de los mismos, restándole confort y seguridad a los usuarios de la vía. (Ver Fotografía 4)



Fotografía 5. Deterioro de los guardacantos y juntas de expansión.

Diagnóstico

Juntas: Con los daños presentes, se evidencia que las juntas presentan obstrucción en junta de dilatación (OJ), desnivel y deterioro en junta dentada. lo cual hace que se presente un estado de funcionalidad crítico, es decir no prestan de manera adecuada la labor para la cual fueron diseñadas, de lo cual se concluye que todas las juntas tienen fallas por falta de mantenimiento, notándose por la existencia de suciedad entre las placas dentadas, desnivel y oxidación, también obstrucción, rotura y ausencia de sello, por lo cual se permite el paso del agua a través de la junta, ésta a su vez afecta la durabilidad de los apoyos, estribos y pilas del

puente. Este daño también ocasiona que se obstruya el libre movimiento por dilatación térmica generando grietas y abultamiento del pavimento asfáltico en la zona contigua a las juntas. (Ministerio de Transporte, 2010)

5.3.3.2. Andenes & Bordillos

Los andenes están conformados por bordillos y líneas de confinamiento cada 10 m, estos tienen un acabado en baldosines rojos de 10cm x10cm, como resultado de esta inspección se tiene que hacen falta alrededor de 1.25 m² en baldosines, existe desnivel en 3 tramos correspondientes a las abscisas K0+10, K0+30 y K0+150 y sus desniveles son, 7cm, 4cm, 2cm respectivamente; también hay dos tapas de servicios públicos mal dimensionadas que permite ver una abertura de 4 cm en la abscisa K0+120 en el carril izquierdo; los bordillos están agrietados y desportillados en tramos correspondientes a las abscisas K0+30, K0+50, K0+110 con dimensiones de 4cm, 10cm, 30cm; también hay presencia de vegetación en las orillas exteriores de los apoyos. (Ver Fotografía 6).



Fotografía 6. Desnivel y falta de baldosines en los andenes & presencia de vegetación en la superestructura

5.3.3.3. Barandas

Las barandas son de tipo concreto en forma de balaustre (Convenio UN-INVIAS, 2006), los daños presentados en este elemento son agrietamiento en las abscisas 0+30 con 3cm de dimensión en el lado derecho y K0+200 con 0.2cm de ancho y 6 m de largo del lado izquierdo; desniveles y desalineamiento de la abscisa K0+40 hasta la abscisa K0+100 en el carril izquierdo. (Ver Fotografía 7) En cuanto a estética, las barandas están pintadas de color blanco y amarillo en buenas condiciones.



Fotografía 7. Agrietamiento y desalineamientos de las barandas

5.3.3.4. Iluminación

Consta de postes metálicos y lámparas, las cuales no están en su totalidad, haciendo falta 8 de éstas, en lugar de ellas quedaron los tornillos oxidados que las sujetaban. (Ver Fotografía 8)



Fotografía 8. Ausencia de iluminación en varios puntos.

Diagnóstico.

Andenes & bordillos, barandas e iluminación: los andenes reflejan desniveles, grietas por intervenciones y/o reparaciones y discontinuidad de las baldosas del acabado, lo cual si no se corrige se presentarían accidentes en los peatones por tropiezo e inseguridad al caminar. Los bordillos también presentan grietas por intervenciones y desportillamientos, esto ocasionaría inseguridad en la circulación del peatón. En cuanto a las barandas se encuentran problemas de desalineamiento lo cual a su vez genera agrietamiento y además se presentan fisuras por intemperismo, sí no se reparan con el paso del tiempo pueden colapsar. Respecto de la iluminación todos los postes presentan corrosión sobretodo en sus bases y hay ausencia de 8 postes en diferentes tramos, esto acarrearía que la eficiencia de luminosidad en toda la trayectoria del puente disminuiría si los existentes dejaran de llegar a funcionar.

5.3.3.5. Señalización

En el sentido del abscisado hay presencia de dos señales, una que prohíbe la circulación de motocicletas por el sendero peatonal y otra que restringe giros en U, las cuales tienen buena visibilidad y legibilidad. Respecto a la señalización horizontal las líneas de demarcación de la vía se encuentran en buen estado visible pero sin tacos refractivos. (Ver Fotografía 9)



Fotografía 9. Detalle de la presencia de señalización vertical en el puente.

Fuente: Google Earth, 2014, modificado por Autores (captura en sitio), 2014.

5.3.3.6. Drenajes

El drenaje longitudinal tiene buena eficiencia por la geometría vertical del diseño del puente, sin embargo por tubería de drenaje esta deficiente, pues los tubos no cuentan con la longitud necesaria para sobresalir del tablero (15 cm) para que el agua salga y no humedezca y cause eflorescencias en la superficie del tablero en el lado de abajo, también hay presencia de vegetación en el interior de éstos. (Ver Fotografía 10)



Fotografía 10. Drenajes mal contruidos

Diagnóstico:

Drenajes: Presentan fallas por mal diseño, los drenajes tienen insuficiente longitud para un adecuado desagüe. Esto hace que el agua siga haciendo contacto con la parte inferior de la losa, lo cual se debe evitar para que no se presenten patologías de tipo químico.

5.3.3.7. Apoyos

Los apoyos en estribos y pórticos corresponden a placas de neopreno, las cuales todas han colapsado, notando en ellas daños por aplastamiento, partidura y desgaste. (Ver Fotografía 11)



Fotografía 11. Elementos de enlace en placas de neopreno en precarias condiciones.

Diagnóstico.

Elementos de enlace: Estos elementos sufren aplastamiento y colapso debido al envejecimiento y deterioro ocasionado por las cargas de servicio, lo que hace que las fuerzas no se repartan uniformemente en los apoyos y se restrinjan los movimientos horizontales de las vigas por dilatación térmica.

5.3.3.8. Aletas y estribos

En el sentido del abscisado el primer estribo se encuentra con una grieta vertical de 0.5 cm de ancho y 1.6 m de longitud en la unión con el alero izquierdo; el estribo del otro extremo del puente está ubicado dentro del cauce y sometido a ciclos de humedecimiento y secado y se observó eflorescencias en esta parte, además, padece ataques de tipo biológico constatados por la existencia de organismos marinos adheridos a la superficie de éste. (Ver Fotografía 12)



Fotografía 12. En el estribo número 1, se evidencia una grieta de 45°, en el estribo 2 se ven eflorescencias por ciclos de humedecimiento y secado.

Diagnostico

Estribos: El estribo número 1 en el sentido del abscisado del puente presenta una grieta a 45° en su extremo izquierdo producido por falla por aplastamiento del concreto del estribo en la zona de apoyos y por la falta de capacidad de soportar este tipo de cargas, todo lo anterior descrito es producto de mala repartición de cargas en los apoyos debido al colapso de las almohadillas de neopreno; también un factor que incide en este problema es la acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente. (España Moratho, 2013) (Ministerio de Transporte, 2010)

De la subestructura se tienen los siguientes resultados presentados de la siguiente manera:

5.3.3.9. Pilas

El puente cuenta con 4 pilas porticadas, 3 dentro del cauce y 1 en tierra firme; después de ver con detalle el estado cada una de las pilas dentro de la Laguna, se encontró que los dados de cimentación presentan descascaramiento del concreto de recubrimiento, así mismo se observó eflorescencias en la parte de humedecimiento y secado, además, padece ataques de tipo biológico constatados por la existencia de organismos marinos adheridos a la superficie de éstas; se encontró que el pórtico numero 2 presenta grietas verticales de 1 cm y 2cm de ancho por 1.80 m de longitud, la viga de amarre en este pórtico está totalmente destruida, ésta presenta ataques biológicos y como consecuencia de esto se presentan ataque de sulfatos y de ácidos generados por los organismos biológicos, además hay fenómeno de carbonatación, por lo anterior hay pasivación del acero y por ende ruptura del concreto evidenciado por la grieta de 2 cm de ancho y descascaramiento del concreto de recubrimiento a lo largo de toda la viga. La pila número 1 está en tierra firme, no presenta ninguna clase de daños perceptibles a simple vista, por lo cual se puede decir que es la pila que en mejores condiciones se encuentra.

Diagnostico

Pilas aporticadas:

Para el diagnóstico de las pilas aporticadas se dividió en diagnóstico de las columnas, vigas cabezales del pórtico, vigas de amarre y cabezales de pilotes. Todos los pórticos presentan la patología de decoloración y manchado como efecto de la meteorización, el lavado por lluvias, acumulación de polvo y escurrimiento de aguas, dicha decoloración tiene repercusiones de tipo estético en el puente.

Las columnas de los pórticos 2 y 3, en el sentido del abscisado del puente presentan el fenómeno de carbonatación y tienen la capa protectora (recubrimiento) despasivada por efectos del mismo, el frente de carbonatación es aproximadamente 5 cm, haciendo que el acero de refuerzo se encuentre corroído, además estos mismos elementos presentan grietas por compresión simple, esta patología es normal que ocurra ya que son debido a las cargas de servicios. La resistencia de las columnas del pórtico número 2 están por debajo de la resistencia de diseño, 1.571,42 PSI para la columna izquierda, la cual es una resistencia muy baja y compromete la estabilidad del elemento si no se corrige y 3.571,42 PSI para la columna derecha, también por debajo de la resistencia de diseño, lo cual es mejor corregir. Estos daños deben ser corregidos lo antes posible ya que son de carácter evolutivo rápido y comprometen la resistencia de estos elementos y por ende del puente.

5.3.3.10. Losas, vigas y riostras

Se encontró que la losa presenta eflorescencias por mal drenaje y crecimiento de plantas en tramos específicos que a su vez generan grietas en este elemento y retención de humedad. Así mismo se encontró que las vigas están construidas bajo dos diseños, vigas postensadas de sección variable y vigas en concreto reforzado de sección constante, algunas vigas presentan eflorescencias por mal drenaje y daños por impacto vehicular. Las vigas riostras están en aparente buen estado con el único detalle de que presentan eflorescencias por mal drenaje y soportan en el sentido del abscisado de la parte izquierda un tubo madre del acueducto de la ciudad.

Diagnóstico

Losa: Presenta el fenómeno de decoloración y manchado por efecto de escurrimiento de agua por mal drenaje del puente. Debe corregirse esto debido a que el agua al hacer contacto con la parte inferior de la losa disuelve los compuestos cálcicos del concreto y el resultado es la descomposición y lixiviación de la pasta de cemento endurecido. (Sánchez de Guzmán, 2002).

Vigas longitudinales: La viga longitudinal que esta de frente al tráfico en la zona del viaducto presenta fracturas por impactos de vehículos de gran dimensión. Si llegara a seguir habiendo impactos, éstos podrían desplazar el eje de la viga ya que es un puente simplemente apoyado por lo cual permite desplazamientos horizontales, afectando la estabilidad del mismo.

Vigas de amarre y cabezales de pilotes: todas las vigas y los cabezales de los pilotes presentan ataques de tipo biológico manifestado con la existencia de organismos marinos adheridos a la superficie de concreto en la parte donde el agua de mar hace contacto con ésta. Dicho ataque es propiciado por la bioreceptividad en esta parte de la estructura, la presencia de agua, nutrientes y condiciones ambientales adecuadas. El mecanismo de deterioro biológico causa disolución de los componentes cementantes o de los agregados del concreto como consecuencia de los metabolitos ácidos de los organismos, dichos ácidos al reaccionar con los compuestos básicos del concreto forman sales, alterando el pH básico del concreto, así mismo se altera la permeabilidad del material favoreciendo la percolación de agua de mar y sales, todo esto generó manchas y decoloración, sulfatación, también estos elementos están expuestos a ciclos de humedecimiento y secado lo que generó degradación del concreto de recubrimiento; las vigas de amarre presentan despasivación del acero, corrosión y aumento de volumen del mismo, por esta patología el concreto está estallado, se presenta agrietamiento del concreto en toda la viga; de lo anterior se puede concluir que las vigas de amarre de las pilas 2, 3 y 4 están en precarias condiciones, lo que hace que estructuralmente no tengan la capacidad de soportar cargas y fuerzas para las que fueron diseñadas (ver Fotografía 13). Por esto se puede estimar que si no se corrige esta patología

se comprometería la estabilidad de estos pórticos y por ende del puente ante eventos de fuerzas mayores, asentamientos diferenciales y/o sismos.



Fotografía 13. En 1 se ve una gran grieta en la viga de amarre del pórtico 2, en 2 se notan grietas verticales en las columnas de los pórticos y en 3 se ve una grieta considerable en la viga de amarre del pórtico 4.

5.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos permitieron esclarecer las dudas y estimaciones que se plantearon en la inspección general respecto a las condiciones patológicas presentes en el concreto debido al macroclima y condiciones ambientales en las cuales se construyó el puente Henrique Román.

5.4.1. Ensayo del martillo de rebote

Como resultado de la prueba de resistencia del concreto en elementos estructurales, se tiene que la resistencia existente medida con el esclerómetro suministrado por la Universidad de Cartagena es en general aceptable y crítico en dos casos específicos. A continuación se muestran los datos de la medición de los impactos tomados con el martillo de rebote cuyas

magnitudes van desde 20 hasta 550 como máximo. (Ver Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10)

Tabla 6. Estado de la resistencia del concreto de la pila 1.

PILA APORTICADA 1											
Columna derecha (medida a 0°)	41	30	32	Viga Cabezal (medida a -90°)	31	32	29	Columna izquierda (medida a 0°)	34	32	35
	38	38	31		32	35	30		36	34	33
	37	25	28		29	30	32		34	35	39
	42	40	39		34	32	30		38	34	39
Promedio	35,08			Promedio	31,30				35,25		
Resistencia PSI	4.000,00			Resistencia PSI	3.714,28				4.000,00		

En la pila aporticada 1, la viga cabezal tuvo una disminución del 7,14% de su resistencia de diseño.

Tabla 7. Estado de la resistencia del concreto de la pila 2

PILA APORTICADA 2											
Columna derecha (medida a 0°)	48	24	20	Viga Amarre (medida a -90°)	27	26	28	Columna izquierda (medida a 0°)	39	41	19
	19	10	15		29	28	25		43	42	15
	19	19	16		27	28	29		36	42	19
	25	25	30		25	28	25		45	39	41
Promedio	22,92			Promedio	27,08			Promedio	35,50		
Resistencia PSI	1.571,42			Resistencia PSI	1.500,00			Resistencia PSI	3.571,42		

En la pila aporticada 2, se tienen descensos considerables de su resistencia de diseño ya que se hicieron los impactos justo en la zona con carbonatación, dando disminuciones de 61,71%, 62,5% y 10,71% en la columna, viga de amarre y columna izquierda respectivamente.

Tabla 8. Estado de la resistencia del concreto de la pila 3

PILA APORTICADA 3											
Columna derecha (medida a 0°)	42	36	33	Viga Amarre (medida a -90°)	39	41	38	Columna izquierda (medida a 0°)	37	35	32
	42	38	35		40	39	35		40	30	41
	39	30	35		39	40	39		35	37	34
	22	28	32		36	37	36		36	30	35
Promedio	34,33			Promedio	38,25			Promedio	35,16		
Resistencia PSI	3.714,28			Resistencia PSI	3.714,28			Resistencia PSI	4.000,00		

En este elemento se tienen reducciones en la columna derecha e izquierda de 7,14%.

Tabla 9. Estado de la resistencia del concreto de la pila 4.

PILA APORTICADA 4											
Columna derecha (medida a 0°)	45	42	38	Viga Amarre (medida a -90°)	32	35	33	Columna izquierda (medida a 0°)	32	35	33
	38	37	41		30	37	32		30	37	32
	35	47	30		33	35	32		33	35	32
	29	35	31		39	38	33		39	38	33
Promedio	37,33			Promedio	35,83			Promedio	34,08		
Resistencia PSI	4.000,00			Resistencia PSI	3.285,00			Resistencia PSI	3.714,28		

En la pila aporticada 4, la viga de amarre bajó su resistencia de diseño en 17,88% mientras que la columna izquierda bajó un 7,14%.

Estado de la resistencia del concreto de los estribos:

Tabla 10. Estado de la resistencia del concreto de estribos.

Estribos							
Estribo 1	30	31	39	Estribo 2	35	31	35
	32	35	30		32	34	43
	32	42	39		32	30	39
	38	30	37		41	39	30
Promedio	34,58				35,08		
Resistencia PSI	3.714,28				4.000,00		

En el estribo 2 la resistencia disminuyó 7,14%.

En la pila aporticada 2 se tuvieron las máximas reducciones de las resistencias, esto está directamente relacionado al proceso de carbonatación generalizado en este elemento, al menos el 60% del área de las columnas y viga cabezal de este elemento están afectadas por esta patología.

5.4.2. Ensayo de la fenolftaleína.

Como resultado de este ensayo se tienen un diagnostico bastante desalentador para la durabilidad y vida útil de la estructura del puente, se constató que existe fenómeno de carbonatación en todos los elementos ensayados, este diagnóstico se hizo después de aplicar con el rociador la solución indicadora de fenolftaleína y la apariencia resultante de la superficie no presentó ninguna coloración en el 70% del área total estudiada como sucede en los elementos carbonatados, mientras el 30% restante se tornó rosa pálida, es decir, estos últimos elementos no están del todo carbonatados. También se notó que el frente de

carbonatación se ha extendido por todo el concreto de recubrimiento el cual tiene como espesor 5cm llegando así hasta el acero de refuerzo, además éste último se encuentra corroído y pasivado por efecto del mismo fenómeno. (Ver Fotografía 14).



Fotografía 14. Arriba: vista panorámica de área en estudio, izquierda: área de ensayo, derecha: resultados del ensayo.

5.5. INSPECCIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO.

Como resultado de la evaluación de los deterioros del pavimento asfáltico se tiene que se encontraron tanto daños del tipo A como del tipo B (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2008). De los daños tipo A se obtuvieron 1.50 metros lineales de ahuellamiento y 110.00 metros lineales de fisuras longitudinales por fatiga. De los daños del tipo B se obtuvieron 72.00 metros lineales de fisuras longitudinales de junta de construcción, 10.00m de fisuras transversales de junta de construcción, 1.35m de fisuras de contracción térmica, 1.71m de abultamiento de mezcla, 1 unidad de ojo de pescado, 108.00m de pérdida de ligante, 4.97m

de pérdida de agregado, 7.22 metros cuadrados de descascaramiento, y por último 18.00 metros lineales de desintegración de borde.

A partir de la información recolectada en campo y con el fin de determinar el estado de la vía, se procedió a diligenciar los Formatos B.2 (Resumen deterioros del tipo "A" en pavimentos asfálticos para carreteras), Formatos B.3 (Resumen deterioros del tipo "B" en pavimentos asfálticos para carreteras) y Formatos B.4 (Cálculo del Is por secciones de 10 metros), los cuales se presentan como anexos en este documento.

A partir de los datos de campo y después de diligenciar el formato B.4 se obtuvo el siguiente panorama del estado de la calzada de la vía. (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Valoración cualitativa del pavimento flexible

PUNTO DE REFERENCIA		CATEGORIA DEL ESTADO DEL ASFALTO
DESDE LA ABCISA	HASTA LA ABCISA	
0+000	0+100	MARGINAL
0+100	0+200	MARGINAL
200	236	BUENA

Diagnóstico

Pavimento asfáltico: La carpeta asfáltica será intervenida de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de este elemento, para el tramo de 0+00 – 0+100 se obtiene un estado marginal de daños que mediante un trabajo de reparación pueden ser corregidos; el tramo de 0+100 – 0+200 se obtiene un estado marginal pero los daños son severos y es necesario trabajos de reconstrucción. A continuación se presentan las alternativas de reparación sugeridas para cada tramo:

Tramo de 0+000--0+100: En este tramo existen fisuras longitudinales de juntas, transversales de juntas y de contracción térmica, estas se sugiere reparar mediante la siguiente metodología:

- Barrer el material suelto del área que va ser sellada.
- Realizar el ruteo de grietas mayores de 6 mm y menor de 20 mm mediante el uso de la ruteadora. Deberán ser conformadas mecánicamente en un ancho y una profundidad de 20mm. Las fisuras y grietas entre 3mm y 6 mm no requieren ruteo y se sellan con el ligante previendo que éste penetre la grieta.
- Desprender el material suelto previamente al barrido. Limpiar las grietas con un chorro de aire comprimido.
- Sellar las grietas aplicando el ligante asfáltico. (Ministerio de Transporte, 2010)

Para el tratamiento de abultamientos, solo se sugiere reparar aquellos que tengan nivel de gravedad alto, el mismo criterio aplica para la pérdida de ligante y para ambos el proceso de reparación consta de renivelación con sobrecarpetas con mezcla asfáltica en caliente o en frío mediante el siguiente procedimiento:

- Comprobar que el área en la que se va a colocar la sobrecarpeta asfáltica tenga la superficie apropiada, reparando las fisuras según lo especificado en la actividad de sello de fisuras y grietas en pavimento flexible.
- Aplicar el riego de liga, extender la mezcla asfáltica mediante el uso de una máquina pavimentadora, de modo que cumpla con los alineamientos, anchos y espesores.
- Compactar la mezcla inmediatamente después de extendida la mezcla. Se debe verificar que la carpeta asfáltica tenga el ancho y espesor establecidos. (Ministerio de Transporte, 2010)

El descascaramiento presente en el asfalto del puente es de nivel bajo de gravedad en toda su longitud para lo cual se sugiere solo parcheo en superficie o tratamiento superficial simple a través del siguiente procedimiento:

- Marcar las áreas que se van a someter a reparación.

- Realizar el corte del pavimento por el área demarcada, mediante el uso de máquinas cortadoras de pavimento con discos. El diámetro de los discos deberá ser el necesario para alcanzar la profundidad de las capas asfálticas por cortar y su potencia deberá garantizar la operación en una sola pasada, sin generar desprendimientos en las zonas de corte.
- Excavar con el equipo aprobado hasta la profundidad señalada y remover el material excavado, de manera que el fondo de la excavación sea plano, uniforme y firme, mediante el uso de taladros neumáticos y picas.
- Remover el material de carpeta de rodadura y transportarlo al sitio dispuesto y aprobado.
- Compactar el fondo de la excavación en un espesor no menor de 15 cm, de acuerdo con los niveles de densidad que se requieran.
- Realizar el riego de liga. Esparcir la mezcla asfáltica.
- Compactar la mezcla, mediante el uso de compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios triciclos o tándem y de neumáticos.
- Compactar con pisones en las esquinas y áreas que son inaccesibles al compactador. Asegurar que la mezcla compactada quede nivelada con la superficie circundante. (Ministerio de Transporte, 2010)

La pérdida de agregado presente es de nivel bajo de gravedad por lo tanto se recomienda riego en negro que consiste en:

- Barrer la superficie. Irrigar con el ligante asfáltico la superficie, mediante el uso del irrigador de asfalto. Las dosificaciones deben ser previamente diseñadas en el laboratorio, para evitar excesos.
- Permitir que el ligante asfáltico cure y penetre por un período de 24 horas. No debe permitirse ningún tránsito sobre él, durante este tiempo. (Ministerio de Transporte, 2010)

Tramo de 0+100—0+200: En este tramo se sugiere reconstruir mediante la siguiente metodología:

- Fresado de la Carpeta existente con equipo mecánico rotomil.
- Barrido de la superficie descubierta con equipo mecánico barredora.
- Renivelación de la carpeta asfáltica mediante el procedimiento explicado en tratamientos anteriores. (Ministerio de Transporte, 2010)

A continuación el mapa de daños:

EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA PATOLOGÍA DEL PUENTE ROMÁN
UBICADO EN EL BARRIO MANGA

5.6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Después de analizar los resultados y definir un diagnóstico se tiene la información necesaria para sugerir tratamientos e intervenciones a las patologías existentes y garantizar por medio de obras de reparación y rehabilitación la estabilidad de la estructura del puente Román, consiguiendo así un aumento en la vida útil de dicho puente.

Después de la intervención que se recomienda a continuación se sugiere que la estructura esté sometida a procesos de inspección y mantenimiento, es decir que la obra sea mantenida periódicamente para alargar su vida útil residual y así, evitar que la estructura llegue a su límite de vida última o total, la cual se define como el periodo de colapso parcial o total de la estructura.

A continuación se presenta la propuesta de intervención que bajo criterios como estudiantes próximos a optar el título de ingeniero civil, consideran apropiada para mejorar las condiciones de servicio y mantener un buen funcionamiento del puente Román.

Juntas: La intervención de estos elementos consta de dos fases que garantizan su funcionalidad, estas son la reparación de los guardacantos y la rehabilitación y/o cambio del sistema de juntas de expansión, Dentro de las alternativas de corrección se sugiere:

- Retirar las juntas existentes, y realizar una limpieza profunda del área con chorro de aire comprimido, colocando en el interior de la junta una manguera de alta presión de aire ejecutando la limpieza de adentro hacia afuera de la cavidad.
- Rehabilitar los guardacantos con mortero de base epóxica, para ello se debe cortar con cortadora de disco hasta una profundidad de 5 cm, demoler con una inclinación de 3:1 la arista del elemento estructural, luego limpiar la zona con chorro de aire seco comprimido y con acetona. en una mezcladora mecánica adicionar el componente resina al componente endurecedor, mezclar y homogeneizar por 3 min. Juntar poco a poco los agregados y homogeneizar por otros 3 min. Aplicar el conector de adherencia con adhesivo base epóxica sobre la superficie seca y compactar

enérgicamente el mortero, aplicar capas de espesor menor o igual a 1,5 cm desfasadas en 2 horas. una actividad de mantenimiento rutinario a este sistema de juntas.

- Otra alternativa es remplazar el sistema de placa dentada por juntas de dilatación térmica en neopreno ya que son mejores desde el punto de vista de durabilidad (Ministerio de Transporte, 2010) (Imagen 17)

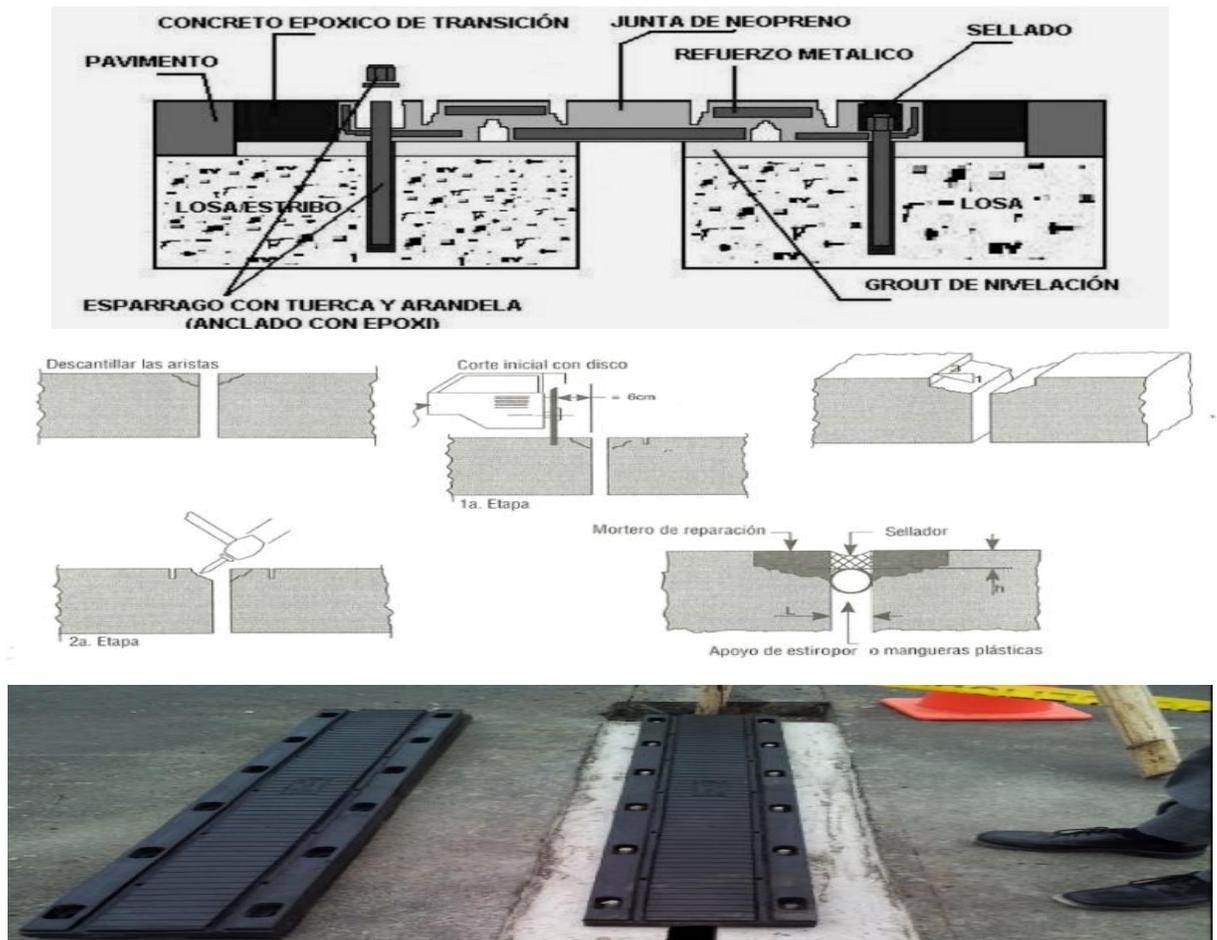


Imagen 17. Propuesta de intervención para juntas.

Andenes & bordillos, barandas e iluminación:

Andenes & bordillos. Localizadas las zonas que presentan deterioro, desnivelación y ausencia de baldosines, se sugiere reparar mediante la siguiente metodología y después pegar todos los baldosines que hagan falta.

- Identificar y marcar todas las zonas o elementos que deben retirarse o repararse para ser cambiados y, solo, proceder a su retiro cuando estén listas para ser reemplazadas.
- Demoler las partes de los andenes y bordillos descompuestos. Los materiales resultantes de esta demolición se deberán remover y trasladar a sitios autorizados por la Entidad de la zona.
- Limpiar la superficie que se va a reparar, asegurándose que no queden partículas de polvo. Los nuevos elementos deben conservar las características estructurales y arquitectónicas del diseño original. Esta labor incluye:
 - Encofrado de los elementos.
 - Armado del acero de refuerzo.
 - Aplicación de resinas epóxicas para unir concreto nuevo con viejo (si es necesario).
 - Fabricación y colocación del concreto cumpliendo con los requisitos de curado.
 - Desencofrado después que el concreto haya fraguado y cumplido con las especificaciones de resistencia (Se debe verificar esta resistencia a la compresión, mediante la ejecución de tres (3) ensayos (como mínimo) por cada componente).
- Para estos elementos es importante las actividades de limpieza y pintura.

Barandas. Identificación de las zonas de las barandas en cada carril que necesitan reparación parcial y/o alineamiento. Realizar el diseño de esta reparación o reemplazo teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas en el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCDSP).

Demoler las partes de la baranda descompuestas. Los materiales resultantes de esta demolición se deberán remover y trasladar a sitios autorizados. Los nuevos elementos necesarios para la reparación de esta baranda deben conservar las características estructurales y arquitectónicas del diseño original. Esta labor incluye:

- Encofrado de los elementos.
- Armado del acero de refuerzo.
- Aplicación de resinas epóxicas para unir concreto nuevo con viejo (si es necesario).
- Fabricación y colocación del concreto cumpliendo con los requisitos de curado.
- Desencofrado después que el concreto haya fraguado y cumplido con las especificaciones de resistencia. (Basadas en los ensayos de tres (3) elementos a compresión).
- Pintura de los elementos.

Para las zonas de las barandas existentes que presenten deformaciones horizontales o verticales importantes, realizar el correspondiente alineamiento.

Iluminación. De acuerdo a la cantidad y calidad de luz que brinda seguridad a la circulación nocturna de los vehículos y peatones es indispensable instalar los postes de iluminación de hacen falta y sustituir los existentes por unos nuevos, se sugiere cambiar en su totalidad todas las lámparas y adecuar el sistema de iluminación de acuerdo a los requerimientos mínimos de luminosidad descritos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Drenajes: Después de analizar el comportamiento del agua y el drenaje de la superestructura, se dedujo que era necesario aumentar la longitud de los tubos de drenaje al menos 30cm por debajo de la superficie inferior del tablero. (Vallecilla)

- El proceso debe hacerse limpiando muy bien los tubos actuales con una lija manual.

- El tubo de 2” actual se acopla a uno nuevo de 30 cm mediante una unión del mismo diámetro y pegante PVC.

Topes sísmicos: debido a que los códigos y manuales de puentes de concreto reforzado se han venido actualizando y dentro del diseño de éstos se considera oportuno construir topes sísmicos aun en zonas de sismicidad baja, se recomienda construir estos elementos en el puente Román, para ello se recomienda leer los parámetros de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras existentes en edificaciones con vigencia anterior a la NSR 10, contemplados en el Título A, capítulo A.10 de la mencionada norma. También se recomienda consultar el manual de puentes en concreto reforzado de Carlos Ramiro Vallecilla.

Elementos de enlace:

Todas las almohadillas de neopreno deben ser sustituidas por unas nuevas, éstas deben ser elementos elastoméricos en neopreno reforzado que permitan movimientos horizontales y soporten la capacidad de carga del puente Román, ésta actividad se ejecutara de la siguiente manera:

- Se deben gatear las vigas simultáneamente en cada apoyo para cambiar las almohadillas de neopreno.
- Retirar las existentes y lijar con un disco de lija acoplado a una lijadora electrónica con adecuada protección, por ultimo limpiar toda el área con chorro de aire comprimido.
- Ubicar en el eje de cada viga las nuevas almohadillas de neopreno reforzadas y bajar los gatos.
- Repetir este procedimiento para cada uno de los apoyos (España Moratho, 2013)

Pilas aporticadas. Columnas: para las columnas de los pórticos 2 y 3 se propone aumentar la sección de la columna y reforzarla mediante la siguiente metodología (ver Imagen 18):

- Devastar las aristas y eliminar todo el concreto dañado y agrietado del núcleo de la columna original.

- Escarificar o erosionar (con chorro de arena) la superficie del concreto viejo para mejorar la adherencia del concreto viejo con el concreto nuevo.
- La superficie debe estar seca y libre de cualquier suciedad.
- Ubicar la armadura de acero con la misma cuantía de diseño.
- Sobre el sustrato seco aplicar el conector (puente de adherencia - zicadur primer 92) para adherir concreto viejo con el concreto nuevo.

Retirar todo el recubrimiento de concreto, reforzar la columna con varillas del mismo diámetro que las existentes y colocarle un acero de refuerzo, encamisar, y fundir la columna con un concreto de 4.000 PSI (Helene, 1997)

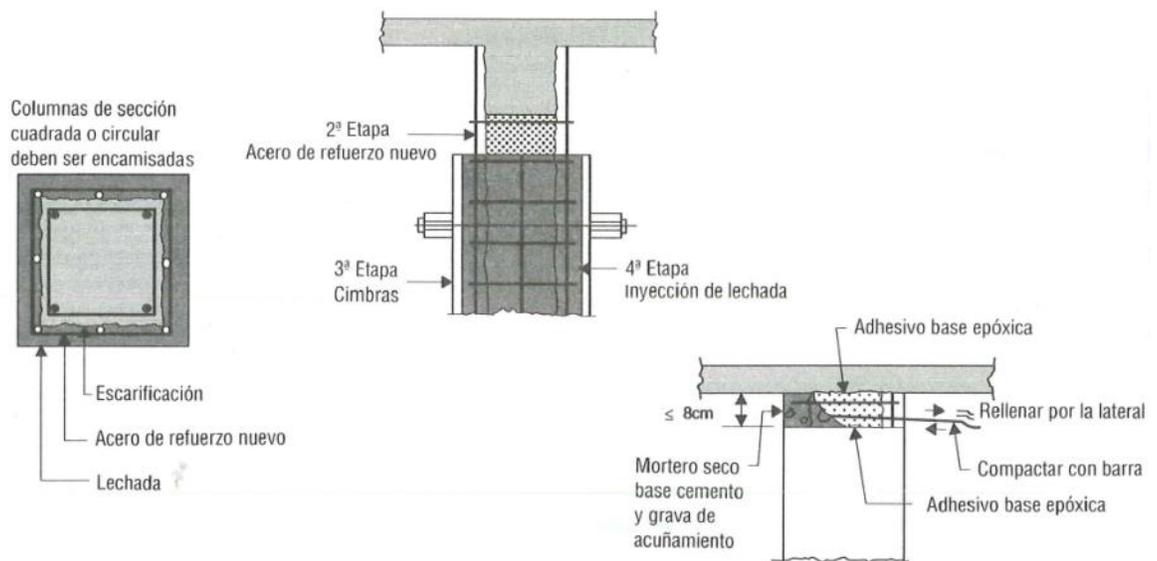


Imagen 18. Propuesta de intervención para las columnas de los pórticos (refuerzo y aumento de sección)

Vigas de amarre y cabezales de pilotes: Las vigas de amarre de las pilas 2 y 3 están en estado de incapacidad estructural, estas deben ser remplazadas por unas nuevas, es decir hay que demoler y reconstruir las vigas de acuerdo a los diseños. Los cabezales de pilotes requieren hacerles un trabajo de mantenimiento y rehabilitación. A continuación la propuesta que se sugiere para cada caso:

Vigas de amarre: Para el caso de las vigas de amarre se requiere reconstruir el elemento totalmente, esto debido al evidente deterioro descrito en el diagnóstico de este documento, para su ejecución se llevan a cabo la siguiente metodología:

- Armar un sistema de abatimiento de aguas el cual se sugiere tablaestacado y posterior bombeo de las aguas.
- Se procede a la demolición, ésta debe hacerse con un martillo neumático de 20 kg o electromecánico, luego de esto debe asegurarse que la zona de la unión de la viga con los cabezales se encuentre uniforme y rugosa y por último se limpia la zona con chorro de aire seco comprimido.
- Armado de las vigas de acuerdo a las especificaciones de los planos.
- Montaje de formaletería in situ y se ubica la armadura amarrando ésta al hierro de los cabezales.
- Proteger el hierro con un epóxico, se recomienda Sikatop Armatec.
- Para efectos del medio ambiente severo y concretos expuestos a continuo contacto con el agua de mar la norma NSR 10 estipula concreto de 4500 PSI con una relación a/c de 0.45.
- Para efectos de eficiencia y durabilidad se recomienda usar un acelerante SikaSet L y un impermeabilizante Plastocrete DM. De sika.
- Por ultimo fundir la viga usando previamente un puente de adherencia entre el concreto viejo de los dados y el nuevo, se recomienda sikadur primer 92. (Helene, 1997)

Cabezales de pilotes:

- En conjunto con el trabajo de las vigas de amarre Armar un sistema de abatimiento de aguas el cual se sugiere tablaestacado y posterior bombeo de las aguas.
- retirar los organismos marinos adheridos y la biocapa presente usando una pulidora y un disco de desbaste industrial.
- Efectuar el desbaste en capas o pasadas cruzadas a 90°, luego lijar el sustrato y prepararlo para la intervención.

- Recubrir todo el elemento con verticoat #2 de toxement, el cual es un mortero acrílico que protegerá la estructura de los ataques biológicos y sulfatos
- Previamente se usa el puente de adherencia descrito en el ítem anterior. (Helene, 1997)

Losa: La losa necesita una limpieza profunda en cada una de las juntas donde existe vegetación, también se hará una limpieza del sustrato donde presenta decoloración y manchado por causa del escurrimiento de agua y donde presenta alteración y hongos por causa de la quema de basuras e intemperismo.

- Se retira la vegetación manualmente o usando un elemento para cortarlas.
- Se limpia la zona con chorro de agua fría a presión, empezando por las zonas más altas y removiendo toda tierra, raíces y material del resultado de la eliminación de la vegetación. (Helene, 1997)

Vigas longitudinales: Para mitigar y/o solucionar el problema de impactos de vehículos de gran dimensión con la viga de la luz del viaducto, se recomienda:

- Sustituir el aviso del galibo descrito en la misma viga por uno que tenga colores más visibles y reflectivos.
- Restringir el paso de vehículos de gran dimensión por esta vía. (Helene, 1997)

Estribos: Para corregir la grieta por problema de capacidad de carga en éste estribo, se recomienda seguir la metodología descrita a continuación:

- Preparar y limpiar cuidadosamente la fisura.
- Restaurar el monolitismo inyectando resina epóxica.
- Reforzar la cimentación.
- Cambiar las almohadillas de neopreno. (Helene, 1997)

6. CONCLUSIONES

Gracias a esta investigación, se ha logrado dar respuesta al cuestionamiento de la necesidad de reparar y hacer mantenimiento al Puente, a través de inspecciones visuales y mediante la exposición de imágenes y fotografías detalladas de los elementos que lo constituyen, además la realización de levantamientos patológicos han permitido dar el diagnóstico y sugerencias de tratamiento de las enfermedades. De las inspecciones visuales se tienen las siguientes conclusiones:

- La pendiente longitudinal está dividida en 2, una desde el acceso en Manga hasta la mitad del puente de 6.5% y desde aquí hasta el acceso del Getsemaní es de 7.0%, éstas favorecen la evacuación de las escorrentías superficiales sin embargo debido a que las tuberías de drenaje no sobresalen lo suficiente por debajo de la losa inferior se generan patologías asociadas a acumulación de humedad.
- Las juntas de expansión ninguna están cumpliendo al 100% sus funciones en cuanto a transmisión de cargas verticales y libertad de movimiento horizontal. Los guardacantos presentan desportillamientos de 1.5 m de longitud y 5 cm de profundidad, dos guardacantos tienen descubrimiento del acero de refuerzo, con desniveles de 6cm.
- En los andenes hacen falta alrededor de 1.25 m² en baldosines, existe desnivel en 3 tramos, también hay dos tapas de servicios públicos con aberturas de 4 cm, el 13% de los bordillos están agrietados y desportillados.
- Los apoyos en estribos y pórticos corresponden a placas de neopreno, las cuales todas han colapsado, notando en ellas daños por aplastamiento, partidura y desgaste.
- El puente cuenta con 4 pilas porticadas, 3 dentro del cauce y 1 en tierra firme, se encontró que todos los dados de cimentación sumergidos y sus vigas de amarre

presentan descascaramiento del concreto de recubrimiento, eflorescencias y ataques de tipo biológico.

De la evaluación de la carpeta asfáltica se tiene que:

- El 30% de la superficie del puente presenta lesiones por ahuellamiento, un 50% fisuras longitudinales por fatiga y el daño más generalizado fue la pérdida de ligante con 83% del asfalto.
- Del cálculo del índice de deterioro superficial (Is), (ver anexo 2) se concluyó que los primeros 200 metros de la superficie del puente presentan un estado marginal, el cual permite la circulación de los vehículos pero no de manera confortable.

Y por último de los ensayos no destructivos se tiene que:

- El 70% del área total estudiada con fenolftaleína estaba carbonatada, mientras el 30% restante se tornó rosa pálida, es decir, estos últimos elementos no están del todo carbonatados.
- En la pila aporticada 1, la viga cabezal tuvo una disminución del 7,14% de su resistencia de diseño.
- En la pila aporticada 2, se tienen descensos considerables en su resistencia de diseño ya que se hicieron impactos con esclerómetro en la zona carbonatada, dando disminuciones de 61,71%, 62,5% y 10,71% en la columna, viga de amarre y columna izquierda respectivamente.
- En la pila aporticada 2 se tuvieron las máximas reducciones de las resistencias, esto está directamente relacionado al proceso de carbonatación generalizado en este elemento, al menos el 30% del área de las columnas y viga cabezal de este elemento están afectadas por esta patología.
- En la pila aporticada 3, se tienen reducciones en la columna derecha e izquierda de 7,14%.
- En la pila aporticada 4, la viga de amarre bajó su resistencia de diseño en 17,88% mientras que la columna izquierda bajó un 7,14%.
- En el estribo 2 la resistencia disminuyó 7,14%.

7. RECOMENDACIONES

Dentro de la investigación realizada se resalta la importancia de proseguir los estudios sobre todo en aquellas partes cuyas limitantes como el acceso a partes altas y a partes bastante sumergidas, significaron un impedimento para poder analizar otras zonas importantes del puente, por tal razón se recomienda en futuros estudios la contratación de personal capacitado para labores en alturas y buzos para la toma de fotografías y muestras en partes profundas. Se recomienda además la implementación de estudios mediante ensayos destructivos, tomas de muestras, extracción de núcleos, prueba de cloruros y de ultrasonido que por los limitantes económicos y de permisos no fueron contemplados en esta investigación. La no inclusión de estos ensayos obvia muchos datos necesarios que podrían llegar a modificar las recomendaciones técnicas expuestas en este documento.

Finalmente, no se apreciaron datos inesperados a lo largo de la investigación, salvo el grave estado de la viga de amarre en el pórtico 2 y los altos porcentajes de carbonatación en las áreas estudiadas. En general, las patologías encontradas hacen parte de las tipologías que generalmente se presentan en puentes, según la literatura previamente estudiada, así como también como los síntomas de las enfermedades y sus evoluciones a futuro.

Anexo 2. Resumen deterioros del tipo "A" en pavimentos asfálticos para carreteras.

FORMATO B.2 RESUMEN DETERIOROS DEL TIPO "A" EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA CARRETERAS												
POR SECCIÓN 100 m												
Nombre de la carretera: <u>CALLE 25</u>					Proyecto: <u>Carretera Existente</u>							
Código de la carretera: <u>3</u>			Elaboró: <u>Bustamante C., González D.</u>			Fecha(dd/mm/aa): <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">Sept</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2014</td></tr></table>				3	Sept	2014
3	Sept	2014										
PR: <u>00+00</u>		al PR <u>00+236 m</u>		Aprobó: _____		Fecha(dd/mm/aa): <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">Sept</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2014</td></tr></table>		3	Sept	2014	Hoja: <u>1</u> de: <u>1</u>	
3	Sept	2014										

PR		Longitud de Muestreo (m)	Ancho de calzada (m)	Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales						Fisuras longitudinales por fatiga			Fisuras piel de cocodrilo			Bacheos y parcheos			Nivel de Gravedad Representativo G_R
				AH	DL	DT	Long (m)	Deterioro %	Gravedad	FLF	Deterioro %	Gravedad	FPC	Deterioro %	Gravedad	B	Deterioro %	Gravedad	
DE	HASTA	Long (m)	Long (m)	Long (m)	Long (m)	Long (m)				Long (m)			Long (m)			Long (m)			Long (m)
0+230	0+236	5	7,00	1,50	0,00	0,00	1,50	30,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
0+000	0+130	130	7,00							110,00	100,00	3,00							3

AH: Ahuellamiento **DL:** Depresiones o hundimientos longitudinales **DT:** Depresiones o hundimientos transversales
FLF: Fisuras longitudinales por fatiga **FPC:** Fisuras piel de cocodrilo **B:** Bacheos y parcheos

Nivel de Gravedad Representativo (G_R): Si $G_R < 1.5$ se toma 1
Si $1.5 \leq G_R < 2.5$ se toma 2 Si $G_R \geq 2.5$ se toma 3

Anexo 4. Formatos B.4 (Cálculo del Is por secciones de 10 metros)

FORMATO B.4 RESUMEN CÁLCULO DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL Is

POR SECCIÓN 100 m

Nombre de la carretera: _____ Proyecto: Carretera Existente;

Código de la carretera: _____ Elaboró: Benavides K., Bustamante C., González D., Martelo J., Matos H. Fecha(dd/mm/aa):

PR: 00+00 al PR 00+236m Aprobó: _____ Fecha(dd/mm/aa): Hoja: 4 de: 4

Examen Visual

(1) Índice de Fisuración If		Extension	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
	Gravedad				
	1	1	2	3	
	2	2	3	4	
3	3	4	5		

Índice de Deformación Id		Extension	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
	Gravedad				
	1	1	2	3	
	2	2	3	4	
3	3	4	5		

Primer Calificación del Índice de Deterioro, Is

	If	0	1-2	3	4-5
Id		1	2	3	4
0	1	2	3	4	
1-2	3	3	4	5	
3	4	5	5	6	
4-5	5	6	7	7	

Corrección por reparación

	Extension	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
Gravedad				
1	0	0	0	+1
2	0	0	+1	
3	0	+1	+1	

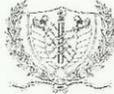
Índice de Deterioro Superficial Is, 1 a 7

(1) Cálculo efectuado separadamente de la fisuración longitudinal y la fatiga. Se adoptan el mayor de los dos valores calculados.

PR		Cálculo del Índice de Fisuración (If)							Cálculo del Índice de Deformación (Id)			Índice de Deterioro Superficial Inicial IS	Corrección y Cálculo Índice de Deterioro Superficial			Categoria		
		Fisuras longitudinales por fatiga (FLF)			Fisuras piel de cocodrilo (FPC)				Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales (AH, DL, DT)				Bacheos y parcheos		Índice de Deterioro Superficial Final IS			
		Extensión % de longitud	Gravedad	If(1)	Extensión % de longitud	Gravedad	If(2)	Índice de Fisuración If	Extensión % de longitud	Gravedad	Id		Extensión % de longitud	Gravedad			Corrección	
DE	HASTA																	
0+000	0+100	100,0	3	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	3	MARGINAL
0+100	0+200	30,0	3	3,00	0,0	0	0	3	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	3	MARGINAL
200	236	36,0	0	0,00	0,0	0	0	0	0,04	0	1	0	0,0	0	0	0	1	BUENA

FLF: Fisuras longitudinales por fatiga
FPC: Fisuras piel de cocodrilo
AH: Ahuellamiento
DL: Depresiones o hundimientos longitudinales
DT: Depresiones o hundimientos transversales
B: Bacheos y parcheos

Anexo 5. Carta solicitud Esclerómetro.


Universidad
de Cartagena
Fundada en 1877

Cartagena de Indias, 10 de septiembre de 2014

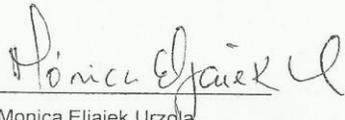
DOCTOR
MODESTO BARRIOS FONTALVO
COORDINADOR GRUPO GEOMAT
SEDE PIEDRA DE BOLIVAR-UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

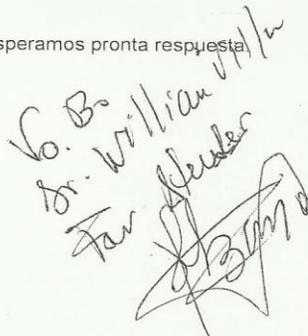
Reciba un Cordial Saludo

Mediante la presente, los estudiantes de X semestre de ing. Civil, Carlos Andrés Bustamante & David Andrés González actualmente se encuentran desarrollando su trabajo de grado titulado "EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA PATOLOGÍA DEL PUENTE ROMÁN UBICADO EN EL BARRIO MANGA.", en el cual, dentro de sus objetivos esta hacer ensayos no destructivos para determinar la resistencia actual del concreto en cada uno de os miembros del puente.

Por tal motivo se le solicita el préstamo de un (1) esclerómetro para desarrollar tal actividad. Los responsables de este equipo serán los estudiantes mencionados como autores de este trabajo de grado.

De antemano le agradezco su colaboración y esperamos pronta respuesta.
Muchas gracias por la atención prestada


Monica Eljaiek Urzola
Directora del programa de Ingeniería civil.
Universidad de Cartagena




ISO 9001
Icontec


I-Net
MANAGEMENT SYSTEMS



Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Civil
Piedra de Bolívar – Ave. Del Consulado, Calle 30 No. 48-152 Teléfax: 6699173
web: www.unicartagena.edu.co
Cartagena de Indias, D.T. y C. – Colombia

Anexo 6. Carta solicitud GPS y cinta métrica


Universidad
de Cartagena
fundada en 1834

Cartagena de Indias, 10 de septiembre de 2014

*Señor Clemente Venencia
para atender la presente
solicitud*
[Firma]
10-Sept-2014

DOCTOR
RAUL CASTRO CABARCAS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE VÍAS
SEDE PIEDRA DE BOLIVAR-UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

Reciba un Cordial Saludo

Mediante la presente, los estudiantes de X semestre de ing. Civil Carlos Andrés Bustamante & David Andrés González actualmente se encuentran desarrollando su trabajo de grado titulado "EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA PATOLOGÍA DEL PUENTE ROMÁN UBICADO EN EL BARRIO MANGA", en el cual, dentro de sus objetivos esta hacer un levantamiento a la estructura del puente mencionado.

Por tal motivo se le solicita el préstamo de los siguientes equipos con los cuales su departamento cuenta, el día 10 de septiembre y serán devueltos día 17 del mismo mes, los responsable de los equipos serán los estudiantes mencionados como autores del trabajo de grado.

- Dos (2) GPS
- Cinta Métrica

De antemano le agradezco su colaboración y esperamos pronta respuesta.
Muchas gracias por la atención prestada

[Firma]
Monica Eljaiek Urzola
Directora del programa de Ingeniería civil.
Universidad de Cartagena

Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Civil
Piedra de Bolívar – Ave. Del Consulado, Calle 30 No. 48-152 Teléfax: 6699173
web: www.unicartagena.edu.co
Cartagena de Indias, D.T. y C. – Colombia


ISO 9001
Iconotec
SC-CER153470


CERTIFIED
I-Net
MANAGEMENT SYSTEM



Anexo 7. Carta solicitud de planos a EDURBE.


Universidad
de Cartagena
Fundada en 1827

Cartagena de Indias, 9 de abril de 2014

Ingeniero
JAIRO VERASTEGUI
EDURBE S.A.
Manga calle 28 # 21-62 Av. 3ª.

Cordial saludo:

Presento a usted a los estudiantes CARLOS ANDRES BUSTAMANTE PEÑA y DAVID ANDRES GONZALEZ MORALES, con código estudiantil No. 0210812002 y 0210820042 respectivamente, quienes se encuentran desarrollando su trabajo de Grado titulado "EVALUACIÓN, DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA PATOLOGÍA DEL PUENTE ROMAN EN EL BARRIO MANGA"; por tal razón, le solicito muy comedidamente su apoyo y colaboración, en el sentido de suministrarles información, planos sobre el Puente Román en el Barrio de Manga.

De antemano le agradezco su atención y apoyo a esta solicitud.


RAMON TORRES ORTEGA
Decano

S.A.
10 ABR 2014
Hora: 4:15 pm
Fin: *Correos*
No implica Aceptación


ISO 9001
Icontec
SC-CER153470


CERTIFIED
IONet
MANAGEMENT SYSTEMS


NICEP
CERTIFICADO

Facultad de Ingeniería – Decanatura
Piedra de Bolívar – Av. Del Consulado, Calle 30 No. 48-152 Telefax: 6752040
E-mail: fcingenieria@unicartagena.edu.co web: www.unicartagena.edu.co
Cartagena de Indias, D.T. y C. – Colombia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Northern Virginia Regional Commission NVRC. (2007). *Low Impact Development Supplement to the Northern Virginia BMP Handbook*. Virginia.
- American Concrete Institute. (2000).
Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 7. (03 de 2011). Recuperado el 26 de 08 de 2013, de http://vwrrc.vt.edu/swc/april_22_2010_update/DCR_BMP_Spec_No_7_PERMEABLE_PAVEMENT_Final_Draft_v1-7_03082010.htm
- Canal Construcción. (2013). Recuperado el 14 de 10 de 2013, de <http://www.canalconstruccion.com/hormigon-permeable.html>
- NRMCA. (2013). Recuperado el 14 de 10 de 2013, de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP38es.pdf>
- WebAcademia. (2013). Recuperado el 22 de 08 de 2013, de http://centrodeartigos.com/articulos-enciclopedicos/article_80425.html
- AASHTO. (1993). Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.
- ACI.55R-06. (2006). *Farmington Hills: American Concrete Institute*.
- Aguado, A. (1995). Nuevas tendencias en los hormigones porosos. *VII Jornada del Hormigón del Gremi de Constructors d'Obres de Barcelona i Comarques*.
- Alcaldía de Cartagena. (2008). *Plan Maestro de Drenajes Pluviales*. Cartagena.
- Andersen, C., Foster, I., & Pratt, C. (1999). The role of urban surfaces (permeable pavements) in regulating drainage and evaporation: development of a laboratory simulation experiment. *Hydrological Processes*, 13, 597-609.
- ASTM. (2003). *Standard Classification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction*. # 522.1.08.
- ATLANTIS SUDS. (2013). *Atlantis SUDS*. Recuperado el 25 de 08 de 2013, de <http://drenajesostenible.com/app/download/5779362944/SISTEMAS+URBANOS+DE+DRENAJE+SOSTENIBLE.pdf>

- Banco de Desarrollo. (2010). *Infraestructura pública y participación privada. Conceptos y experiencias en América y España*. (C. A. Comercio, Ed.) Corporación Andina de Fomento.
- Beeldens, A., & Vijverman, L. (2009). *Asociación Española de la Carretera*. Recuperado el 14 de 10 de 2013, de <http://www.aecarretera.com/servicios/publicaciones/revista-carreteras/articulos-publicados/137-revista-carreteras-n-166/544-adoquines-de-hormigon-permeables-al-agua-estructuras-duraderas-para-una-politica-integrada-del-agua>
- Calderón, Y., & Charca, J. (2013). *Investigación en Concreto Poroso*. Arequipa, Perú.
- Castaño, J. (24 de Noviembre de 2013). Puente Heredia, en el completo abandono. *El Universal*.
- Castro, J., & Fernandez, B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para ppavimentos porosos de hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 24 N°3*, 271-284.
- City of Portland,. (2008). *Portland Stormwater Management Manual*.
- Cock, S. (2010). *MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL*. Bogotá.
- Concretos Especiales S.R.L. (29 de 05 de 2011). *Hormigón Ecológico Permeable*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/concretosespeciales/hormigon-ecologico-permeable-smart-crete>
- Convenio UN-INVIAS. (29 de Noviembre de 2006). *Manual Para La Inspeccion Visual De Puentes Y Pontones*. Recuperado el 1 de Febrero de 2014, de Invias.gov.co: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.invias.gov.co%2Findex.php%2Fhechos-de-transparencia%2Finformacion-financiera-y-contable%2Fdoc_download%2F976-manual-para-la-inspeccion-vis
- Das, B. M. (1999). *Fundamentos De Ingenieria Geotecnica*. Sacramento , California , United States : Thomson.
- De Solminihac, H., & Castro, J. (2002). Pavimentos porosos de hormigón: una opción para mitigar los efectos de las aguas lluvias.

- Departamento Nacional de Planeación, Banco Interamericano de Desarrollo y Ministerio de Transporte . (2011). *Plan Maestro de Transporte 2010-2032*. Bogota D.C.
- DICTUC, & MINVU. (1996). *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos*. Santiago, Chile.
- El Universal. (01 de Febrero de 2013). Conductores temen que el Puente Heredia se vuelva a caer. *El Universal* , pág. 1.
- El Universal. (12 de Septiembre de 2013). <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/puentes-de-manga-quedaran-como-nuevos-134369>.
- El Universal. (28 de Junio de 2013). No hay puente vehicular que no esté roto en Cartagena.
- El Universal. (24 de Noviembre de 2013). Puente Heredia, en el completo abandono.
- El Universal. (5 de 05 de 2013). Puente Heredia: patrimonio abandonado y resquebrajado.
- España Moratho, J. (2013). *Notas de Clase: Puentes*. Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia.
- Estupiñan, J., & Zapata, H. (2010). *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá*. Bogotá.
- García, E., Monparler, S., & Doménech, I. (2010). *Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables*. Valencia: Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA). Área de Hidráulica e Hidrología. Universitat Politècnica de València. Cno. de Vera s/n 46022 Valencia.
- García, E., Perales, S., & Doménech, I. (2010). *Control de Escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas fríos*. Valencia.
- Geotecniaweb. (2012). Obtenido de http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/permeabilidad.pdf
- GITECO. (2013). *Giteco, Grupo de investigación de la Universidad de Cantabria*. Obtenido de <http://www.giteco.unican.es/>
- Greenroads Manual v15. (11 de 09 de 2011). *Pavement Technologies*.
- Gunderson, J. (2008). *Pervious Pavements: New Findings About Their Functionality and Performance in Cold Climates*. *Stromwater*.

- Helene, P. R. (1997). *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. Mexico D.F: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto .
- Hunt, W., & Collins, K. (2008). Permeable Pavement: Research Update and Design Implications. *North Carolina State University Cooperative Extension, Raleigh, NC. Publication # AGW-588-14.*
- Ibañez, S., & Moreno, R. (2004). *Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía*. Valencia: Universidad politecnica de Valencia.
- Instructivo para la inspección visual y la evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos de carreteras*. (s.f.).
- Jackson, N. (2007). *Design, Construction and Maintenance Guide for Porous Asphalt Pavements*. National Asphalt Pavement Association. Information Series 131. Lanham, MD.
- Manual AASHTO. (1993). *AASHTO - 93*.
- Marques Lima, J., & de Brito, J. (2009). Inspection survey of 150 expansion joints in road bridges. *Engineering Structures*, 1077-1084.
- Mejía , E. (2010). Nueva Muralla de Cartagena. Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia.
- Miliarium. (2008). *Miliarium.com: Ingeniería Civil y Medio Ambiente*. Recuperado el Marzo de 2014, de Tipos de Puentes: <http://www.miliarium.com/bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Bogotá.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE. (2008). *Guia Metodologica para el Diseño de Obras de Rehabilitacion de Pavimentos Asfalticos de Carretera*. Bogota: INVIAS.
- Ministerio de Transporte. (2010). *MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL SECUNDARIA*. Bogotá.
- Newman, A., Coupe, S., Puehmeier, T., Morgan, J., Henderson, J., & Pratt, c. (2004). *Microbial Ecology of Oil Degrading Porous Pavement Structures*. WARwick: Horticulture Research International, Wellesbourne, Warwick, UK.

- Noticias Caracol. (2011). Obtenido de Caracol Radio:
<http://www.caracol.com.co/noticias/ecologia/panales-ecologicos-o-pavimento-permeable-proyectos-del-green-solutions-2011/20111124/nota/1582983.aspx>
- Perales, S. (2008). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Valencia.
- Pérez, F., Kraemer, c., & Lacleta, A. (1982). *Mezclas Bituminosas Porosas*. Madrid: Dirección General de Carreteras, Servicio de Tecnología. .
- RAS . (2000). *Título D.4.3.10*.
- Rivva L. , E. (2006). *DURABILIDAD Y PATOLOGIA DEL CONCRETO*. Lima, Lima , Perú: Fondo Editorial ICG.
- Rodríguez, J. (2008). *ESTUDIO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE SECCIONES PERMEABLES DE FIRMES PARA VÍAS URBANAS CON UN COMPORTAMIENTO ADECUADO FRENTE A LA COLMATACIÓN Y CON LA CAPACIDAD PORTANTE NECESARIA PARA SOPORTAR TRÁFICOS LIGEROS*.
- Rodriguez, J., Gómez, E., Castro, D., & Rodriguez, J. (26 de 08 de 2013). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Obtenido de http://www.ciccp.es/biblio_digital/Urbanismo_I/congreso/pdf/040505.pdf
- Rodriguez, J., Rodriguez, J., Gomez, E., & Castro, D. (2008). *Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles*. Recuperado el 12 de 08 de 2013, de http://www.ciccp.es/biblio_digital/Urbanismo_I/congreso/pdf/040505.pdf
- rueda. (23 de Enero de 2013). *icontec.org*. Recuperado el 10 de Marzo de 2014, de *CONCRETOS. DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*: <http://tienda.icontec.org/brief/NTC5551.pdf>
- Sánchez de Guzmán, D. (2002). *Durabilidad y patologia del concreto*. Asocreto.
- SANCHEZ ZAPARDIEL, H. (Marzo de 2013). *CONTROL TECNICO DE VIAS EN SERVICIO*. CARTAGENA, Bolívar, Colombia.
- Scholz, M. (2006). *Wetland Systems to Control Urban Runoff*, Cap 30, Pag 269 - 290.
- Schueler et al. (2007). *Urban Stormwater Retrofit Practices*. Ellicott City,: Center for Watershed Protection.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). *SISTEMA URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE*. Bogotá.

- Seshu D., R., & Dakshina Murthy. (2013). Non Destructive Testing of Bridge Pier - a Case Study. *Procedia Engineering*, 564-572.
- Smith, D. (2006). *Permeable Interlocking Concrete Pavement-selection design, construction and*. Third Edition. Interlocking Concrete Pavement Institute. Herndon, VA.
- Solminihaç, H., & Castro, J. (2006). *Pavimentos Porosos de Hormigón: Una Opción para Mitigar los Efectos de las aguas lluvias*. Depto. de Ingeniería y Gestión de la Construcción, PUC.
- Tadeu, N., & Lenz, A. (2010). Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras. *Revista Ingeniería de Construcción*, 22.
- Universidad de Piura. (02 de Octubre de 2006). *Biblioteca Digital de la Universidad de Piura*. Recuperado el Marzo de 2014, de Capítulo 6: Subestructuras: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_141_179_93_1310.pdf
- Universidad Nacional de Colombia. (14 de Octubre de 2010). *Preparación y Ensayo de Fenolftaleína en hormigón armado*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2014, de [bdigital.unal.edu.co](http://www.bdigital.unal.edu.co): http://www.bdigital.unal.edu.co/2370/2/43158233.2009_2.pdf
- UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA. (11 de Septiembre de 2010). *Manual Para El Mantenimiento De La Red Vial Secundaria*. Recuperado el 18 de Febrero de 2014, de web.mintransporte.gov.co: <http://web.mintransporte.gov.co/pvr/images/stories/documentos/pavimentos1>
- Vallecilla, C. R. (s.f.). *MANUAL DE PUENTES EN CONCRETO REFORZADO*. Bauen .
- Virgiliis, A. (25 de 04 de 2011). Obtenido de youtube: http://www.youtube.com/watch?v=9vori51xb_U
- Yamin, L., & Ruiz, D. (2000). VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES EN COLOMBIA Y ESTRATEGIAS PARA REHABILITACION. *Revista De Ingeniería De La Universidad De Los Andes*, 05-06.