

**Estudio patológico y propuesta de intervención al puente San Joaquín en la ruta
Puerto Rico – San Vicente del Caguán**

BOGOTÁ D.C., AGOSTO DE 2019

ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

TPI

2-2018

ESTUDIANTE:

JUAN MANUEL MOJICA AMANN

DOCENTE:

Walter Mauricio Barreto Castillo
Arquitecto Magister

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DECANATURA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
BOGOTÁ AGOSTO 2019

El presente trabajo fue realizado gracias a los conocimientos adquiridos durante el curso de la especialización de Patología de la Construcción y a la experiencia adquirida durante los 7 años de trabajo en el campo de diseño y construcción de puentes.

Se pretende dar a conocer un caso de estudio real, en el que se plantean soluciones que deben ser adoptadas para garantizar la estabilidad estructural del puente San Joaquín, como resultado de un estudio de patología.

Contenido

Introducción	5
1. Justificación.....	5
2. Objetivos	7
2.1 Objetivos generales	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3. Alcance.....	7
4. Ubicación.....	8
5. Descripción general del puente.....	9
6. Situación actual del puente.....	12
7. Inspección y ensayos realizados.....	15
7.1 Topografía y Batimetría.....	15
7.2 Toma de índices de rebote en el concreto	16
7.3 Detección del acero de refuerzo con Ferroskan	17
7.4 Abertura de regatas.....	18
7.5 Extracción de Núcleos	20
7.6 Inspección visual a los neoprenos y topes sísmicos	22
7.7 Inspección visual a la capa de rodadura y juntas de dilatación.....	23
7.8 Inspección de fisuras	23
7.9 Pruebas de carbonatación al concreto	25
7.10 Inspección de estribos y pila	28
8. Conclusiones.....	30
9. Propuesta de intervención	31
9.1 Lista de cantidades de obra, valores unitarios y valor total de la intervención propuesta.....	33

Tabla 1. Resultados obtenidos del fallo del núcleos	22
Tabla 2. Cantidad de fisuras por vigas.....	24
Tabla 3. Factores para obtener r	26
Tabla 4. Coloración de indicador del PH	27
Tabla 5. Presupuesto de obra	34

Figura 1. El satélite muestra la ubicación del puente junto con sus coordenadas en la parte inferior y su orientación con respecto al norte magnético.....	9
Figura 2. Sección longitudinal del puente.....	10
Figura 3. Sección Trasversal del puente	10
Figura 4. Esquema de camión HS-20-44.....	11
Figura 5. Vista frontal del puente.....	11
Figura 6. Vista longitudinal del puente	12
Figura 7. Restricción de carga en el puente	12
Figura 8. Deformación en la baranda por deformación en la viga exterior	13
Figura 9. Hexápodos en concreto en el estribo izquierdo	13
Figura 10. Carril derecho cerrado.....	14
Figura 11. Grieta en la viga exterior en la zona central	14
Figura 12. Desprendimiento de concreto en la viga exterior en la zona central	14
Figura 13. Fisura en la parte inferior de una viga intermedia en la zona central	15
Figura 14. Levantamiento Topográfico y batimetría.....	16
Figura 15. Toma índice de rebote en el concreto.....	16
Figura 16. Tabla de error medio en concretos con más de 30 días	17
Figura 17. Mapeo del acero de refuerzo	18
Figura 18. Regata en la losa de piso	19
Figura 19. Reparación de regatas.....	20
Figura 20. Extracción de núcleos en el estribo	21
Figura 21. Aplastamiento de neopreno	22
Figura 22. Falta de capa de rodadura	23
Figura 23. Fisuras y grietas en la viga 4D.....	24
Figura 24. Prueba de carbonatación a concreto del puente	27
Figura 25. Recalce del estribo con micropilotes.....	28
Figura 26. Estribo derecho no presenta socavación.....	29
Figura 27. Parte inferior de pila con apoyo sobre micropilotes.....	29
Figura 28. Propuesta de reforzamiento para las vigas, Sección longitudinal	32
Figura 29. Propuesta de reforzamiento para las vigas, Sección Trasversal	32

ANEXOS

- Anexo 1. Fichas de Patología
- Anexo 2. Planos topográficos y de batimetría
- Anexo 3. Resultados de las pruebas con esclerómetro
- Anexo 4. Mapeo del acero de refuerzo
- Anexo 5. Resultados de regatas para obtención del acero de refuerzo
- Anexo 6. Resultados de los ensayos de compresión de los núcleos de concreto.
- Anexo 7. Registro fotográfico de la inspección de las vigas y fisuras
- Anexo 8. Cálculo estructural para el diseño del refuerzo de las vigas para el camión CCP-14
- Anexo 9. Análisis de Precios Unitarios
- Anexo 10. Cálculo estructural para el diseño de una nueva viga postensada.

Introducción

Los puentes son estructuras fundamentales para el desarrollo de la economía y la sociedad a nivel nacional y mundial. Existen muchos tipos de puentes, pero los más usados en Colombia, son puentes de concreto por la facilidad de consecución de éste material y su bajo costo en relación con el acero.

La infraestructura vial en Colombia en el tema de puentes, es muy limitada, no existe un programa de mantenimiento periódico a los mismos, como tampoco un programa de inspecciones. Los propietarios de los puentes en las vías nacionales como el Instituto nacional de Vías (INVIAS) o la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), abandonan las estructuras una vez son finalizadas por el contratista. Se encuentran en muchas carreteras que los puentes deben ser restringidos o cerrados por falta de mantenimiento o cuando se tienen lesiones que han avanzado con el tiempo y nadie había detectado, como es el caso del puente San Joaquín ubicado en el departamento del Caquetá, en la vía que conduce de Puerto Rico a San Vicente de Caguán. Este puente de dos carriles presenta una restricción a un carril y a 20 toneladas de peso bruto vehicular.

A partir de los conocimientos adquiridos en la especialización de Patología de la Construcción, se realizó el estudio de este puente, en busca de las causas que llevaron a la restricción del mismo y proponer las acciones correctivas y preventivas para garantizar el funcionamiento de la estructura.

1. Justificación

El puente San Joaquín, es una estructura de vital importancia para el departamento del Caquetá, pues esta en la vía principal que conduce de la ciudad de Florencia a San Vicente del Caguán. Con la restricción de carga que se tiene, la comunidad se ha visto afectada con el suministro de alimentos y elementos que requieren para el desarrollo económico. Además de esta afectación, en la zona de San Vicente existen empresas petroleras que han visto

afectadas su producción, generando menores producciones que finalmente se ve reflejado en menores regalías para el país.

El propietario del puente es el INVIAS, quien ha manifestado que, a la fecha, no cuenta con los recursos necesarios para el estudio e intervención, razón por la cual este estudio beneficiará al gobierno y la región, pues es un inicio para la rehabilitación del puente.

Por lo general no se encuentra información que ayude al diagnóstico de la estructura, tal como planos, memorias de cálculo o bitácora de obra.

2. Objetivos

2.1 Objetivos generales

Desarrollar un estudio patológico al puente San Joaquín, para su reforzamiento o rehabilitación

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las lesiones que se presentan en el paciente, que generan la restricción de carga.
- Elaborar un diagnóstico de las lesiones que se presentan.
- Realizar los ensayos necesarios para establecer las causas de las lesiones.
- Proponer alternativas de reforzamiento o rehabilitación para eliminar la restricción de carga.

3. Alcance

El estudio del puente se desarrolló con las siguientes etapas:

- Historia clínica
- Diagnóstico
- Propuesta de intervención

Se plantean los siguientes ensayos no destructivos y destructivos:

- Inspección Visual detallada de la estructura y levantamiento de cantidad de fisuras y medición de las mismas.
- Levantamiento geométrico de la estructura (vigas, losa de concreto, arriostrado y baranda)
- Detección de acero de refuerzo por medio de regatas. Para poder realizar un cálculo de capacidad de carga, es indispensable conocer el diámetro y

separación tanto de los flejes, como del acero de refuerzo longitudinal en la viga.

- Ensayo con esclerómetro
- Extracción y fallo de núcleos, en las vigas, losa de concreto, estribos y diafragmas.
- Pruebas de carbonatación
- Batimetría para verificar el estado de la socavación
- Topografía
- Verificación del estado de los neoprenos

El número de cables, diámetro y tensionamiento de las vigas postensadas es muy importante conocerlo, pero no existe prueba alguna para conocer esta información, por lo que se debe determinar el año de construcción del puente y así saber el camión de diseño utilizado, para realizar nuevamente el cálculo estructural original y obtener la información de los cables.

En el cálculo estructural solo se comprueba la superestructura, pues con ningún ensayo es posible conocer el tipo de cimentación, su geometría y profundidad.

El levantamiento geométrico y estado de la estructura se realizó de acuerdo a los parámetros especificados en el numeral 3. “SINTESIS DE DAÑOS EN PUENTES DE CONCRETO”, del “MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PUENTES Y PONTONES”, del Instituto Nacional de Vías- INVIAS y la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

4. Ubicación

El puente San Joaquín está ubicado en la ruta 65 en el Km 9 de la vía Puerto Rico – San Vicente del Caguán, en el departamento de Caquetá.

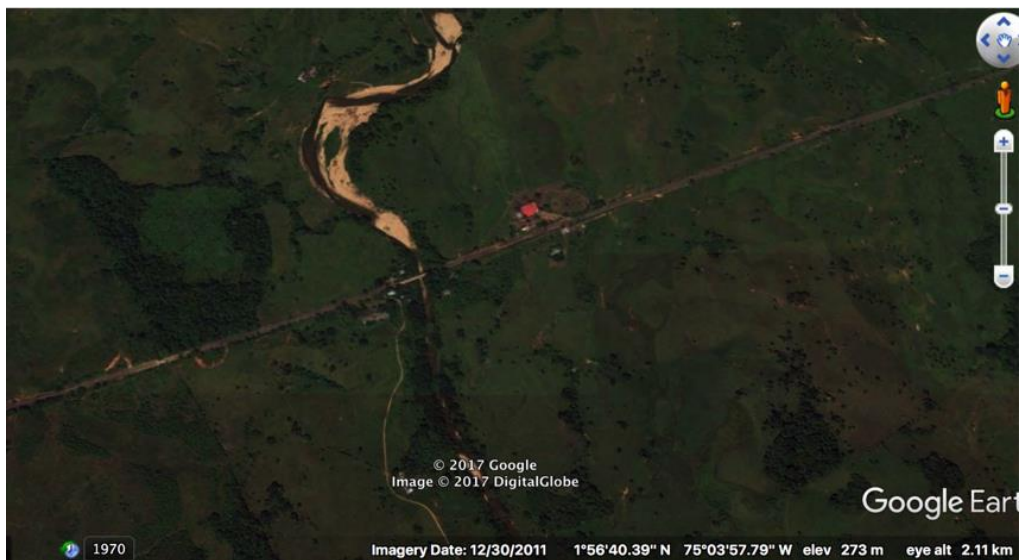


Figura 1. El satélite muestra la ubicación del puente junto con sus coordenadas en la parte inferior y su orientación con respecto al norte magnético

Imagen tomada de Google Earth 9 de 31 Agosto de 2018.

Esta es la única vía de acceso a San Vicente del Caguán, la cual es la segunda ciudad más importante del departamento.

5. Descripción general del puente

El puente tiene una longitud de 62,2m, con una calzada y dos carriles en dos sentidos, cuenta con dos luces y una pila intermedia, con un ancho de calzada de 7,4m y un ancho por carril de 3,7m; losa en concreto reforzado, sin carpeta asfáltica.

Carga Viva actuante: Camión C 40.95

De forma práctica el puente se dividirá en la luz derecha (lado Puerto Rico) y la luz izquierda (lado San Vicente del Caguán); en cada luz se encuentran 4 vigas postensadas de 31,10m de longitud y se numeran de acuerdo al sentido del río, es decir la No. 1 será la que se encuentre aguas arriba, hasta la No. 4 que será la de aguas abajo y las vigas de la luz derecha o lado Puerto Rico se les denominará “D” y las vigas de la luz izquierda o lado San Vicente se les denominó “Z”.

Datos Generales del puente		
Tipo de Puente	Placa y Viga	
Año de Construcción	Alrededor de 1960	
Norma de Diseño	A.A.S.T.H.O	
Camión de	HS2044	
Luces		2
Carriles		2
Vigas	Concreto Postensado	
Losa	Concreto Reforzado	
Cimentación	Desconocida	

Tabla 1. Datos generales del puente

Fuente: propia

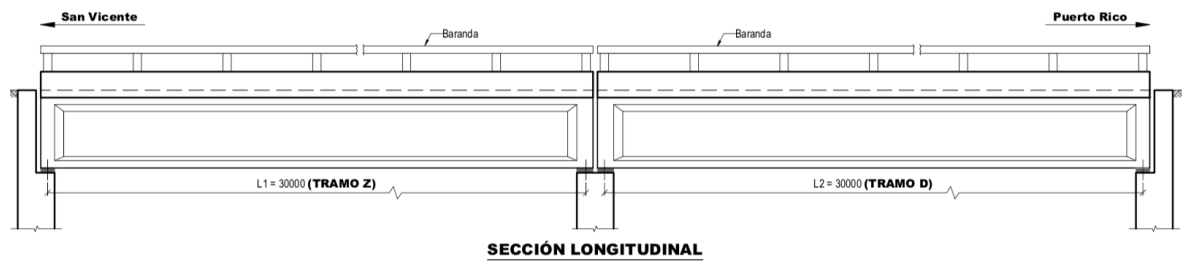


Figura 2. Sección longitudinal del puente

Fuente: Propia

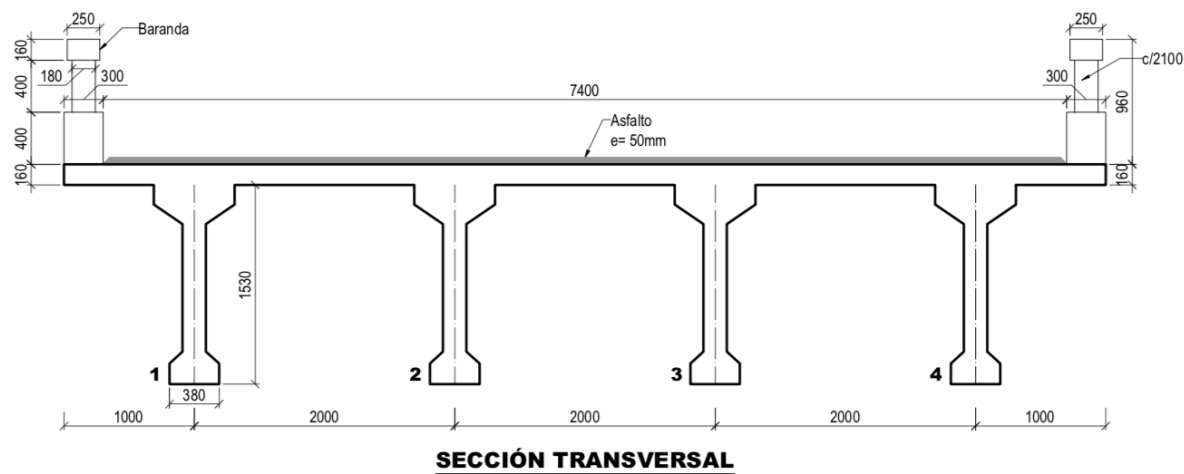


Figura 3. Sección Trasversal del puente

Fuente: Propia

Dado que no se consiguen en el Invias, los planos o cálculos del puente, la edad del mismo se toma de información de habitantes de la zona, los que informan que este tiene 40 años de construido por lo que se toma como referencia el camión de diseño HS 20 – 40,

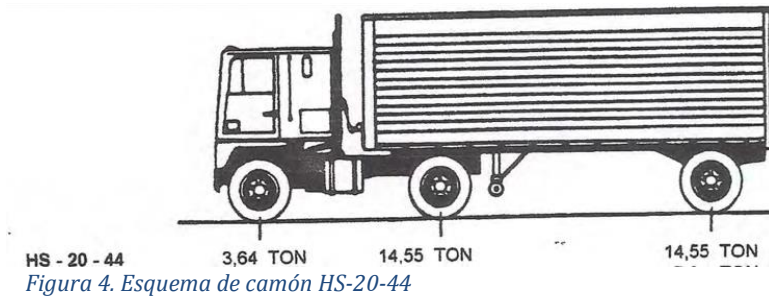


Figura 4. Esquema de camión HS-20-44

Fuente: Código Colombiano de diseño de puentes C 40-95



Figura 5. Vista frontal del puente

Fuente: Propia



Figura 6. Vista longitudinal del puente

Fuente: Propia



Figura 7. Restricción de carga en el puente

Fuente: Propia

6. Situación actual del puente

Actualmente el puente tiene una restricción de carga a 20 toneladas y el carril derecho cerrado en la luz derecha, pues sus vigas de una luz presentan fisuras y en especial una viga externa con una deformación excesiva (Figura5), presenta desprendimiento de concreto en la parte central. El puente tiene una protección en hexápodos (Figura6) de concreto en la

luz de la margen derecha, como protección a la socavación, los cuales se han desacomodado dada la fuertes corrientes que se han presentado en la ultimas olas invernales. Se cree que el puente puede presentar problemas de socavación en el estribo y aleta. Se adjunta la ficha técnica.



Figura 8. Deformación en la baranda por deformación en la viga exterior

Fuente: Propia



Figura 9. Hexápodos en concreto en el estribo izquierdo

Fuente: Propia



Figura 10. Carril derecho cerrado

Fuente: Propia



Figura 11. Grieta en la viga exterior en la zona central

Fuente: Propia



Figura 12. Desprendimiento de concreto en la viga exterior en la zona central

Fuente: Propia

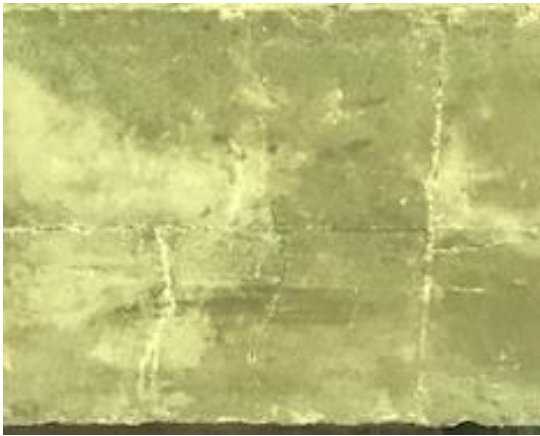


Figura 13. Fisura en la parte inferior de una viga intermedia en la zona central

Fuente: Propia

Las fichas de patología se encuentran en el anexo 1.

7. Inspección y ensayos realizados

Tal como se describió en el alcance del presente trabajo al puente se le realizaron inspecciones visuales, levantamiento topográfico y batimetría, ensayos destructivos y no destructivos los cuales se describen a continuación

7.1 Topografía y Batimetría

Se realizó el levantamiento topográfico de la estructura y la batimetría. Los planos, cartera e informe, se encuentra en el anexo 2.



Figura 14. Levantamiento Topográfico y batimetría

Fuente: Propia

De la Topografía se concluye que la pila y estribos no presentan problemas de verticalidad o torsión

7.2 Toma de índices de rebote en el concreto



Figura 15. Toma índice de rebote en el concreto

Fuente: Propia

Se sabe que la determinación del índice de la prueba por medio del esclerómetro es sólo un indicativo de la resistencia del concreto. Con la existencia de diversas curvas que relacionan el índice con la resistencia a la compresión y factores que se desconocen en el concreto, se pueden tener resultados que se ven afectados, invalidando los resultados obtenidos.

Se siguen los parámetros de la norma INV E-413 y los resultados se muestran en el anexo 3, los resultados están calculados con dos curvas definidas en función del tiempo de los concretos, los cuales han aumentado su dureza superficial debido a la carbonatación, por lo que usaremos la siguiente tabla de corrección con el error medio, adicional a la del esclerómetro.

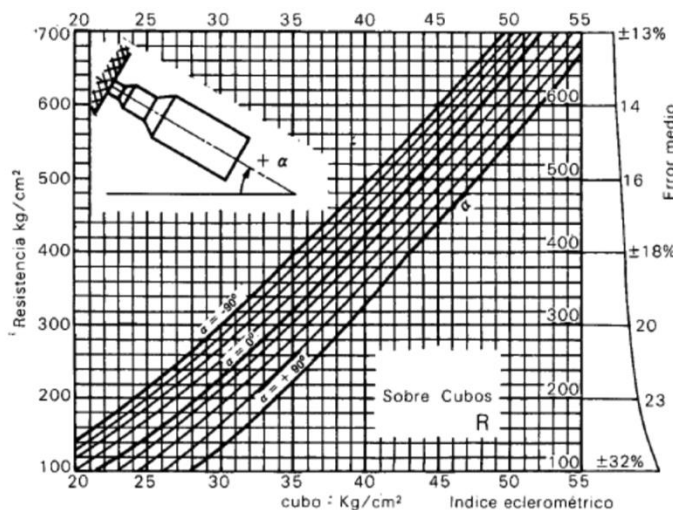


Figura 16. Tabla de error medio en concretos con más de 30 días

Ernest Schmidt, 1940, Recuperado el 8 de Agosto de 2019, disponible en:

<https://www.slideshare.net/cristiaydali07/ensayos-nodestructivos-esclerometro>

El esclerómetro empleado en la inspección fue el CONTROLS Modelo 58-C0181/N.

7.3 Detección del acero de refuerzo con Ferroskan

Se realizó un escaneo mediante el ferroskan donde se ubica la distribución del acero de refuerzo en estribos, pilas y vigas, que será usado en el calculo estructural.



Figura 17. Mapeo del acero de refuerzo

Fuente: Propia

Para poder realizar el calculo estructural de capacidad del puente, es necesario obtener la distribución del acero de refuerzo de los elementos de concreto.

El Ferroskan es un dispositivo de detección magnética que arroja resultados en cuanto a la cantidad de varillas. Es un dispositivo fácil de usar y de manera no invasiva. Tiene la desventaja que no puede detectar barras empachadas, que son utilizadas normalmente en el acero inferior de las vigas de concreto, además que no tiene buena precisión en la determinación del diámetro de las varillas.

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 4.

7.4 Abertura de regatas

Se abrieron seis (6) regatas de tamaño 25cm x 25 cm, en promedio, en donde se consideró necesario para la inspección del estado de la armadura y su distribución. Las regatas luego se repararon.

Los sitios donde se realizaron las regatas se relacionan a continuación y los resultados se relacionan en el anexo 5.

- Estribo derecho en centro y en el lado aguas arriba, cantidad: 2.
- Pila, cantidad: 1
- Losa vano derecho, cantidad: 1

- Estribo izquierdo centro y lado aguas arriba, cantidad: 2



Figura 18. Regata en la losa de piso

Fuente: Propia

Dentro de la inspección realizada mediante la abertura de regatas se pudo observar que los aceros no presentan corrosión y el medio circundante (concreto con pH de 12) hace que sean pasivos frente a la corrosión.

Una vez inspeccionado el acero, se procede a la reparación de las regatas, utilizando como puente de adherencia Sikadur 32 y mortero Sikatop121.



Figura 19. Reparación de regatas

Fuente: Propia

7.5 Extracción de Núcleos

Se extrajeron 14 núcleos de concretos en los estribos, pila, vigas y losa de piso. Los núcleos fueron enviados para prueba de resistencia a la compresión al laboratorio en la ciudad de Bogotá. Los resultados de los ensayos a compresión, junto con el registro fotográfico de la extracción de dichos núcleos, se encuentran en el anexo 6.

El procedimiento de extracción y ensayo de los núcleos se realizaron de acuerdo a la norma técnica de ensayos de INVIAS, específicamente a la norma INV E-418-13 “OBTENCIÓN Y ENSAYO DE NÚCLEOS DE CONCRETO ENDURECIDO” . Esta norma se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de núcleos extraídos de estructuras de concreto para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión

De acuerdo con el ACI 318, el concreto representado por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si la resistencia promedio de 3 especímenes de núcleos es igual o mayor al 85% de la resistencia especificada y ningún núcleo presenta una resistencia inferior al 75% de la especificada.

Dado que la complejidad y cantidad del acero de refuerzo que tienen los puentes, se hace necesario utilizar un extractor de 2 pulgadas de diámetro, para no afectar la estructura y para poder obtener núcleos sin acero de refuerzo.

En la nota 6 del INV E-418-13 se hace el siguiente comentario: “Se sabe que las resistencias a la compresión de núcleos de 50mm de diámetro nominal son un poco menores y mas variables que las obtenidas sobre núcleos de 100 mm diámetro nominal. Además, los núcleos de poco diámetro parecen ser más sensibles al efecto de la relación longitud/diámetro”.



Figura 20. Extracción de núcleos en el estribo

Fuente: Propia

Las diferencias entre las lecturas del esclerómetro con los resultados obtenidos en la prueba de compresión, en el peor de los casos (estribos) no difieren por encima del 25%.

Para evitar hacer daño a las vigas postensadas se ha determinado que el sitio óptimo de toma de la muestra es en el talón, por detrás de los anclajes de tensión de los cables, si bien es cierto, que para nuestro caso particular no cumpliríamos con la norma, también es cierto que no afectamos de forma irresponsable las vigas.

A continuación se muestra la tabla de resumen de los valores obtenidos de los ensayos a compresión de los núcleos y los resultados obtenidos por medio del esclerómetro

NÚCLEO	SITIO	COMPRESIÓN	ESCLERÓMETRO
1	Estribo Derecho	30,8	40,08
2	Losa Vano Derecho	41,8	36,6
3	Riostra Estribo Derecho V3-V4	44,3	
4	Riostra Estribo Derecho V1-V2	40,6	
5	Pila Central	47,1	
6	Viga 2 Vano Derecho	35,8	40,08
7	Viga 2 Vano Izquierdo	37,1	36,6
8	Losa Vano Derecho	41,6	41,9
9	Viga 1 Vano Derecho	FALLIDA	32,78
10	Viga 1 Vano Izquierdo (mortero)	53,5	
11	Estribo Izquierdo	38,5	28,78
12	Riostra Central Sobre Pila V2-V3, Vano Izquierdo	24,9	
13	Riostra Central Sobre Pila V1-V2, Vano Izquierdo	32,7	
14	Viga 1 Vano Derecho (testigo)	20,8	32,78
	Viga 2 Vano Derecho		29,12
	Viga 3 Vano Derecho		27,14
	Viga 3 Vano Izquierdo		21,24
	Viga 2 Vano Izquierdo		30,42

Tabla 1. Resultados obtenidos del fallo del núcleos

Fuente: Propia

7.6 Inspección visual a los neoprenos y topes sísmicos

El puente carece de topes sísmicos y los neoprenos presentan aplastamiento, especialmente los que soportan las vigas del vano derecho.



Figura 21. Aplastamiento de neopreno

Fuente: Propia

7.7 Inspección visual a la capa de rodadura y juntas de dilatación

El puente no tiene de capa de rodadura por lo que el tráfico vehicular presenta un efecto erosivo en el concreto de la losa. Los ángulos de las juntas de dilatación se encuentran sueltos.



Figura 22. Falta de capa de rodadura

Fuente: Propia

7.8 Inspección de fisuras

Las vigas se dividieron en cuatro partes de acuerdo a la ubicación de las 3 riostras intermedias, que nos dan una comprensión muy fácil de la cantidad y ubicación de las fisuras que superan la mitad de la altura del alma de las vigas desde la parte inferior donde se iniciaron.

Se realizó la ubicación y medición de fisuras en la estructura, encontrándose que la luz derecha o costado Puerto Rico presenta una serie de fisuras y grietas en las cuatro vigas postensadas, las cuales se produjeron por flexión de acuerdo a su ubicación y dirección de crecimiento vertical.

En la tabla número 3 se muestra la medición y mapeo de fisuras con respecto a la unidad de 0,1mm a los mismos aumentos bajo el microscopio electrónico, donde cada línea corresponde a 0,1mm en que se ha dividido cada 1mm.

Distancia desde el estribo		0,00	7,77	15,55	23,32	31,11	Fisuras por Vigas
Viga 1D	Cantidad	2	4	4	0	10	
	Longitud (m)	0,4	0,6	0,34	0		
Viga 2D	Espesor (mm)	0,4	0,3	0,35	0		
	Cantidad	1	2	1	0	4	
Viga 3D	Longitud (m)	0,35	0,6	0,15	0		
	Espesor (mm)	0,25	0,3	0,2	0		
Viga 4D	Cantidad	2	3	3	0	8	
	Longitud (m)	1	1,2	0,8	0		
Viga 1Z	Espesor (mm)	0,4	0,5	0,5	0		
	Cantidad	9	14	12	0	35	
Viga 2Z	Longitud (m)	1,5	1,5	1,5	0		
	Espesor (mm)	10	40	25	0		
Viga 3Z		0	0	0	0	0	
Viga 4Z		0	0	0	0	0	

Tabla 2. Cantidad de fisuras por vigas

Fuente: Propia

La mayoría de las fisuras en las vigas en la parte central tienen tamaños que superan hasta un centímetro, como ocurre en la viga 4D.



Figura 23. Fisuras y grietas en la viga 4D

Fuente: Propia

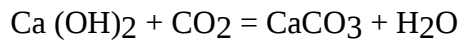
En las vigas del vano izquierdo a lado San Vicente no se encontraron fisuras o indicios de las mismas, en el anexo 7 de encuentran los registros fotográficos de las inspecciones

realizadas en todas las vigas. En las losa de piso no se presentan fisuras. En los estribos y la pila central no se evidenciaron problemas de fisuración.

7.9 Pruebas de carbonatación al concreto

Con el paso del tiempo el concreto presenta, un fenómeno de carbonatación que ocasiona un aumento de la dureza superficial, sin aumento de la resistencia mecánica. (Neville, 1993)

El anhídrido carbónico que contiene el aire, penetra en el concreto a través de los capilares y se combina con el hidróxido de calcio (portlandita) disuelto en los poros del gel, formando carbonato de calcio neutro y agua:



Esto hace que el pH líquido que está en los poros, que originalmente corresponde a valores de 12 a 13, se reduzca gradualmente. Si este valor de pH es inferior a 9.5, el concreto se conoce como “concreto carbonatado”, que adicionalmente al incremento de la dureza superficial, tiene el problema que la alcalinidad puede ser insuficiente para mantener pasiva la capa de óxido del acero de refuerzo, que junto con oxígeno y humedad, faciliten el comienzo de la corrosión.

La carbonatación progresará desde el exterior al interior y su velocidad de penetración depende de factores como:

- a. Humedad relativa del medio ambiente.
- b. Contenido de CO₂ del medio ambiente.
- c. Porosidad en el concreto.

Se ha establecido que la profundidad de la carbonatación varía de unos 3mm al cabo de 30 años para condiciones favorables, a unos 20mm en 10 años para condiciones adversas. Se puede establecer aproximadamente la profundidad de la carbonatación mediante la siguiente ecuación:

$$C = K (T)^{0.5}$$

C: Profundidad de la carbonatación (mm). T: Tiempo en años K: Parámetro que depende

de condiciones límites (medio ambiente, calidad del concreto), será menor si la calidad del concreto y el medio es favorable; y será mayor en el caso contrario. Los valores varían entre 0.5 y 10.

Según Delibes, el parámetro K puede establecerse según la siguiente expresión:

$$K = R \sqrt{a}$$

$$a = ((A/C) - 0.25)^2 / 0.3(1.15 + 3(A/C))$$

$$\left(a = \frac{((A/C) - 0.25)^2}{0.3(1.15 + 3(A/C))} \right)$$

$$R = r(1) * r(2) * r(3)$$

A/C: Relación agua/cemento

r(1), r(2), r(3) factores que dependen del cemento, agregados y aditivos empleados, según la tabla 1.

Influencia del cemento	Portland normal	Alta resistencia	Escorias 40% - 60%	Puzolánico
Valor de r(1)	1.0	0.8	1.4 - 2.2	1.7 - 1.9
Influencia del agregado	rodado de río	Arena nat. Grava lig.	Agregados livianos	Cenizas
Valor de r(2)	1.0	1.2	2.9	3.3
Influencia del aditivo	Normal	Aireantes		Plastificantes
Valor de r(3)	1.0	0.6		0.4

Tabla 3. Factores para obtener r

Fuente: Estudio del comportamiento del avance de la carbonatación del concreto reforzado en ambiente natural y acelerado, Aldo R Campos Silva, Julio 2016, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica.

Se realizaron pruebas de carbonatación de los concretos aprovechando la extracción de los núcleos, utilizando como indicador la fenolftaleína.

En el caso del análisis de carbonatación superficial realizado al puente, se realizó a la inversa, en razón a que al extraer los concretos se pudo medir directamente la profundidad de la

carbonatación.

Fenolftaleína (indicador de pH)		
pH abajo de 8,2	pH entre 8,0 y 10,0	pH entre 10,0 y 12,0
incolora	rosa	carminio o rojo

Tabla 4. Coloración de indicador del PH

Fuente: Indicadores Acido – Base, Angeles Mendez, 5 de mayo de 2010, Recuperado el 4 de junio de 2019, Disponible en: <https://quimica.laguia2000.com/general/indicadores-acido-base>



Figura 24. Prueba de carbonatación a concreto del puente

Fuente: Propia

Se tomaron 13 puntos de medición de indicación de carbonatación a los núcleos extraídos, en donde es muy fácil medir la falta de coloración o su cambio medida desde la superficie.

Los sitios donde se realizaron los ensayos de carbonatación fueron:

1. Estribo derecho
2. Losa vano derecho
3. Riostra estribo derecho V3-V4
4. Riostra estribo derecho V1-V2
5. Pila central
6. Viga 4 vano derecho

7. Viga 4 vano izquierdo
8. Losa vano izquierdo
9. Viga 1 vano derecho
10. Viga 1 vano izquierdo
11. Riostra central sobre pila V2-V3, vano izquierdo.
12. Riostra sobre pila V1-V2, vano izquierdo.

La máxima profundidad medida fue de 30mm y se tuvieron lecturas de pH entre 10 y 12, por tal razón, los recubrimientos del acero de refuerzo se encuentran sanos y con una basicidad suficiente para proteger el acero de la corrosión.

7.10 Inspección de estribos y pila

Los estribos y pilas están sometidos a la acción de la socavación, pues son impedimentos al flujo de agua.

La socavación en momentos de creciente se ve provocada por el incremento de poder erosivo del agua, como consecuencia de un notable aumento de la velocidad de la corriente. Esto produce desestabilización y movilización de espesores notables del fondo del lecho del río. Este fenómeno temporal supone una disminución de la estabilidad de las cimentaciones durante la creciente,

Se observó que el puente ha sufrido socavación en el estribo del margen izquierdo, pero se evidencia que el estribo izquierdo ha sido recalzado con micropilotes y estabilizado. Esta socavación se ratifica a través de la batimetría.

La gran dificultad que se tiene en puentes existentes, es que no se conoce el tipo y profundidad de cimentación, por lo que resulta imposible determinar si la socavación pues afectar o no la estructura.



Figura 25. Recalce del estribo con micropilotes

Fuente: Propia

El estribo del margen derecho no presenta socavación, asentamientos, desplomes o daño alguno.



Figura 26. Estribo derecho no presenta socavación

Fuente: Propia

Se observó socavación e la pila en cara izquierda, aunque también se pudo evidenció un recalce de la zapata sobre de fundación con micropilotes de concreto de 30x30 cm, estabilizando este elemento.



Figura 27. Parte inferior de pila con apoyo sobre micropilotes

Fuente: Propia

8. Conclusiones

De los ensayos e inspecciones realizadas a los elementos del puente se puede concluir los siguiente:

Topografía y Batimetría: Las pilas y estribos conservan su verticalidad y nivelación. Esto indica que no se han presentado asentamientos diferenciales o que los elementos hayan sufrido por el efecto de la socavación. De acuerdo a la batimetría se muestra que el mayor flujo de agua pasa por el vano izquierdo, tocando el estribo. Los hexápodos colocados generan la protección ante el flujo de agua que pasa cerca del estribo.

Detección del acero de refuerzo: El acero de refuerzo queda plasmado en planos. Esta distribución de acero encontrada, se utiliza para corroborar los resultados obtenidos en el cálculo estructural. Se encuentra que el acero colocado, cumple con el requerimiento para el esfuerzo de momento y corte, producidos por el camión de diseño original, por que lo que no puede ser una razón de la aparición de las grietas y fisuras en las vigas del vano D del puente.

Abertura de Regatas: se pudo verificar que el acero de refuerzo no presentan corrosión.

Extracción de núcleos: El ensayo a compresión de los núcleos muestra valores mayores a los teóricos, por lo que se descarta que la viga 4D y demás vigas del vano derecho, presenten fisuras y grietas por la calidad del concreto. Normalmente el concreto utilizado para vigas postensadas es de 35 MPa y los ensayos muestran valores un poco superiores.

Inspección Visual a los Neoprenos y Topes Sísmicos: Los neoprenos presentan aplastamiento, por lo que pierden su capacidad de deformación y amortiguamiento. Es necesario el cambio de estos elementos.

Pruebas de carbonatación: la carbonatación no muestra una penetración a los 30 mm y el PH obtenido esta entre 10 y 12, por que se concluye que el acero de refuerzo no esta expuesto a este ataque químico.

Inspección de fisuras: Sólo se presentan fisuras en las vigas del vano derecho. La viga 4D presenta fisuras y grietas en toda su longitud. En el centro de la viga se presenta una

grieta de 40 mm de espesor. Por la cantidad, longitud y espesores de las fisuras en esta viga, no es posible repararlas. La demolición de esta viga debe realizarse de manera inmediata, pues pone en riesgo la estabilidad estructural del puente. Las fisuras de las demás vigas del vano derecho, deben inyectarse con epóxido de reparación de fisuras.

Con los resultados obtenidos de las inspecciones y ensayos realizados, no se puede conocer el origen de las fisuras en las vigas del vano derecho, pues los resultados de las pruebas fueron buenos. Existe la posibilidad que el origen de estas lesiones se deba a una sobrecarga que haya tenido el puente o que haya habido falencias en el proceso de tensionamiento de los cables.

9. Propuesta de intervención

De acuerdo con las lesiones encontradas en el puente y a los resultados de los ensayos no destructivos y resultados de los laboratorios a los ensayos destructivos, se plantea realizar los siguientes trabajos, que garantizan el tránsito de vehículos:

- Cambio de Neoprenos
- Reemplazo de las juntas de dilatación
- Colocación de capa de rodadura
- Inyección de fisuras en vigas con epóxido
- Hidrolavado
- Aplicación de pintura de protección al concreto (Estribos, pilas, vigas y riostras

El código actual de puentes en Colombia es el Código Colombiano de diseño Sísmico de puentes CCP-14 y dado el año de construcción de del puente, éste debe ser reforzado para las nuevas cargas de diseño. Se realizó el cálculo estructural para el diseño del refuerzo para las vigas, Anexo 9. La viga 4D presentan un deterioro demasiado alto para realizar algún tipo de reparación y/o reforzamiento, por lo que se plantea la demolición de la misma y la construcción de una nueva viga. El cálculo para esta nueva viga de concreto postensado se encuentra en el anexo 10. Durante la demolición, se debe restringir el tráfico a un solo carril. El acero trasversal de la losa, debe mantenerse para la nueva losa, por lo que la demolición de la misma, debe hacerse con herramientas mecánicas, manuales.

A continuación, se muestra el esquema del reforzamiento propuesto con fibras de carbono tanto para el esfuerzo cortante como para la flexión

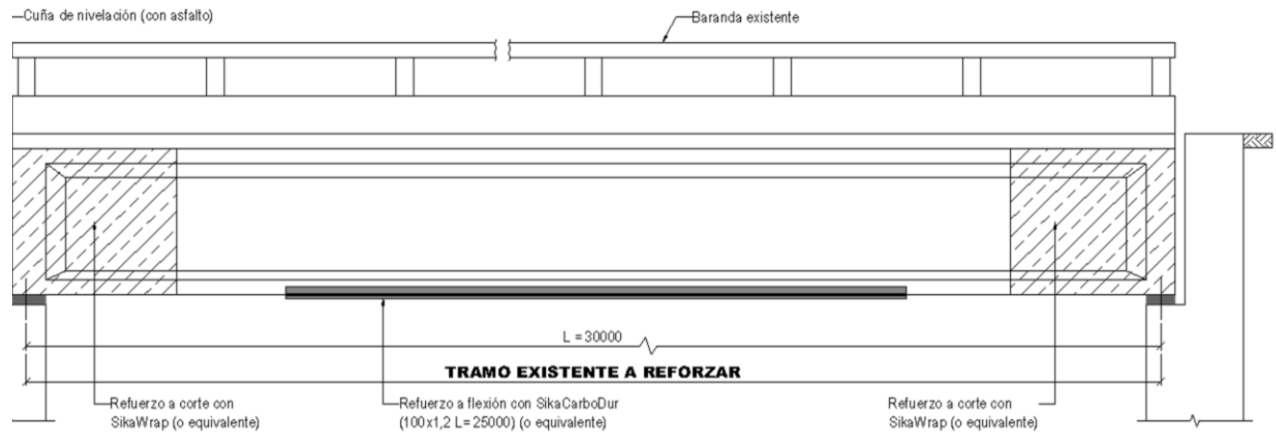


Figura 28. Propuesta de reforzamiento para las vigas, Sección longitudinal

Fuente: Propia

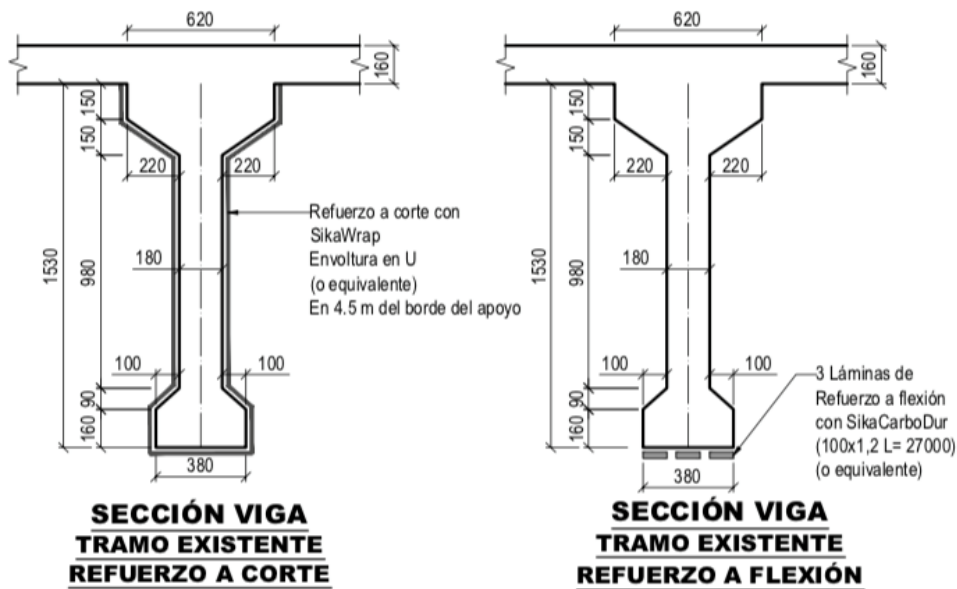


Figura 29. Propuesta de reforzamiento para las vigas, Sección Transversal

Fuente: Propia

9.1 Lista de cantidades de obra, valores unitarios y valor total de la intervención propuesta

El presupuesto esta basado en precios de mercado de la zona, donde se ejecutará el proyecto, teniendo en cuenta las distancias a la a la ciudad mas cercana, para la obtención de los materiales. Los rendimientos se obtienen de la experiencia en la ejecución, en este tipo de obras del ingeniero Juan Manuel Mojica. En el anexo No. 11 se encuentran los Análisis de Precios Unitarios.

LISTA DE CANTIDADES DE OBRA, VALORES UNITARIOS Y VALOR TOTAL DE LOS TRABAJOS

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	REEMPLAZO DE VIGA 4D				
1.1	DEMOLICIÓN	m3	23	500.000	11.500.000
1.2	CONCRETO DE 4000 PSI PARA VIGA	M3	13	3.500.000	45.500.000
1.3	CONCRETO DE 4000 PSI PARA LOSA Y BARANDA	m3	10	1.300.000	13.000.000
1.4	HIERRO DE REFUERZO	kg	3300	4.500	14.850.000
1.5	TENSIONAMIENTO	T-M	8333	1.800	14.999.400
				SUBTOTAL	99.849.400
2	REPARACION Y REFUERZO DE VIGAS				
2.1	INYECCION DE FISURAS CON PRODUCTO HI MOD 35 DE SIKA	KG	10	530.000	5.300.000
2.2	PULIDA DE SUPERFICIE	M2	311	45.000	13.995.000
2.3	PREPRACION DE SUPERFICIE	M2	311	53.000	16.483.000
2.4	SUMINISTRO Y COLCOACION DE SIKAWRAP 300C PARA ESFUERZO CORTANTE	M2	311	428.644	133.308.284
2.5	SUMINISTRO Y COLCOACION DE SIKACARBODUR PARA ESFUERZO A FLEXION	ML	525	358.730	188.333.250
				SUBTOTAL	357.419.534
3	REPARACIONES Y TRABAJOS GENERALES				
3.1	CAMBIO DE JUNTAS DE DILATACION	ML	22	2.451.370	54.420.414
3.2	HIDROLAVADO	M2	650	28.800	18.720.000
3.3	APLICACIÓN DE PINTURA DE PROTECCION AL CONCRETO	M2	650	43.525	28.291.250
3,4	CAMBIO DE NEOPRENOS, INCLUYE MENSULAS DE APOYO Y GATEO DE LAS VIGAS	GL	1	33.186.085	33.186.085
				SUBTOTAL	134.617.749
				SUBTOTAL	591.886.683
				I.V.A SOBRE UTILIDAD DEL 4%	3598671,033
				VALOR TOTAL	595.485.354

Tabla 5. Presupuesto de obra

Fuente: propia

Bibliografía

- Diego Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto, Segunda Re-impresión 2006, Capítulo 5.
- Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, Visto en línea 3 de Septiembre de 2018, Disponible: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/976-manual-para-la-inspeccion-visual-de-puentes-y-pontones/file>
- Ministerio de Transporte de Colombia, Ministerio de transporte de Dinamarca, Sistema de puentes Colombianos SIPUCOL. Manual de Usuario
- Estudio del comportamiento del avance de la carbonatación del concreto reforzado en ambiente natural y acelerado, Aldo R Campos Silva, Julio 2016, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica.