

**ESTUDIO DE LAS PRINCIPALES PATOLOGIAS Y TÉCNICAS DE
REFORZAMIENTO PARA PUENTES EN CONCRETO POSTENSADO
CONSTRUIDOS POR AVANCE EN VOLADIZOS SUCESIVOS FUNDIDOS IN
SITU**

**EDGAR EDUARDO PARRA GOMEZ
MAYRA ALEJANDRA ZEA ACEVEDO**

**FACULTAD DE INGENIERIA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA, SANTANDER
2016**

**ESTUDIO DE LAS PRINCIPALES PATOLOGIAS Y TÉCNICAS DE
REFORZAMIENTO PARA PUENTES EN CONCRETO POSTENSADO
CONSTRUIDOS POR AVANCE EN VOLADIZOS SUCESIVOS FUNDIDOS IN
SITU**

**EDGAR EDUARDO PARRA GOMEZ
MAYRA ALEJANDRA ZEA ACEVEDO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS**

DIRECTOR:

PhD. ÁLVARO VIVIESCAS

**FACULTAD DE INGENIERIA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA, SANTANDER
2016**

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

Por permitirme concluir esta etapa de mi vida, brindándome la fuerza, fortaleza e inteligencia necesaria para llegar a donde estoy el día de hoy.

A mi familia,

Por darme un apoyo incondicional y ser mi más grande inspiración en este proceso de formación profesional, por ser el pilar fundamental en mi vida y nunca dejarme desfallecer, con sus palabras de ánimo y cada uno de sus consejos, sin ellos esto no hubiese sido posible.

A mi compañero de monografía *Edgar Parra*,

Por ser más que un compañero de posgrado un amigo en el camino, por ser un apoyo en la realización y culminación de esta etapa.

A nuestro Director de monografía, el Ing. Phd. Alvaro Viviescas Jaimes,

Por su disposición, colaboración y apoyo durante el desarrollo del proyecto.

Mayra Alejandra Zea

Agradezco a mi compañera, Mayra Zea por el esfuerzo empeñado en la realización de esta monografía y a nuestro Director de proyecto Ing. Civil - Ph. Alvaro Viviescas Jaimes por guiarnos y darnos las pautas necesarias para la debida culminación de nuestro trabajo de grado.

De manera especial agradecemos la colaboración de Puentes y Torones S.A.S por los diferentes aportes realizados durante en la etapa de preparación de nuestra monografía.

Edgar Eduardo Parra

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo principalmente a Dios, por darme la posibilidad de culminar un propósito más, sin el esto no hubiera sido posible,

Y a mi familia, mi pilar en esta formación, a mis padres Doris y Edilberto por inculcarme valores de responsabilidad y respeto, y estar ahí en cada momento difícil. Y a mis hermanos Paola y Diego, por ser un ejemplo a seguir. A mi abuelo, por su compañía durante esta etapa de formación.

Mayra Alejandra Zea

Este importante paso de mi vida quiero agradecersele y dedicárselo a Dios y a mi madre, gran compañera y amiga durante el transcurso de mi vida, que cada día con su motivación me lleva a querer buscar la excelencia como persona y como profesional.

De igual manera quiero agradecerle a toda mi familia que me ha brindado apoyo constante e incondicional y que son la base de mis principios y ética.

Edgar Eduardo Parra

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. MARCO TEORICO	19
1.1. Puentes de sección cajón	20
1.2. Método de avance en voladizo	20
1.2.2. Historia de las construcciones mediante voladizos	23
2.1. Causas de patologías en puentes.....	28
2.2. Manifestaciones de la patología.....	30
2.2.1. Socavación	30
2.2.2. Fallas en los apoyos.....	31
2.2.3. Grietas.....	31
2.2.4. Reacciones químicas	35
2.2.5. Deformaciones excesivas por pérdidas diferidas (Efectos reológicos).....	35
3. Técnicas de rehabilitación y refuerzo de puentes	37
3.1. Rehabilitación en estructuras en concreto.....	37
3.1.1. Tipos de reparaciones más frecuentes	37
3.1.1.1. Limpieza de la zona afectada.....	37
3.1.1.2. Reparación del sistema de drenaje de la estructura	38
3.1.1.3. Inyección de grietas y fisuras.....	38
3.1.1.4. Reparación del acero corroído.....	39
3.1.1.5. Encamisado de pilares	39
3.2. Refuerzo de estructuras en concreto.....	40
3.2.1. Recrecimiento de hormigón.....	40
3.2.2. Refuerzo pasivo	41
3.2.2.1. Refuerzo con FRP	41
3.2.2.1.1. Ventajas de la utilización de FRP.....	42
3.2.3. Refuerzo activo	43
3.2.3.1. Refuerzo a flexión activo	45

4.	Puentes construidos con el método de voladizos sucesivos en Colombia.....	46
4.1.	Puente Juanambu	47
4.2.	Viaducto helicoidal.....	48
4.3.	Puente Humea.....	48
4.4.	Puente de Yondo.....	49
4.5.	Puente Lobo Guerrero-Cisneros vía Buga-Buena Ventura.....	50
4.6.	Puente Guillermo Gómez Ortiz.....	50
4.7.	Puente Madre Laura.....	51
4.8.	Puente Cajamarca.....	52
4.9.	Puente Pescadero.....	53
4.10.	Puente Plato Magdalena.....	53
4.11.	Puente El Tablazo	54
4.12.	Puente Mata de Cacao	55
4.13.	Puente Pujamañes	55
4.14.	Puente El Ramo	56
4.15.	Puente Geo von Lengerke.....	57
5.	Casos de estudio de patologías en puentes por voladizos sucesivos en Colombia	58
5.1.	Puente Pumarejo	58
5.1.1.	Estado de la estructura.....	58
5.1.2.	Rehabilitación de la estructura.....	61
5.2.	Puente Guillermo Gaviria Correa (Yondo).....	66
5.3.	Puente Geo von Lengerke.....	69
5.3.1.	Estado de la estructura.....	69
5.3.2.	Problemática	70
5.3.3.	Reparación de la estructura.....	70
	Conclusiones.....	75
	Referencias.....	76
	Bibliografía.....	79

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Puentes de la prehistoria	19
Imagen 2. "Clam Bridge" construido en roca, Inglaterra.....	19
Imagen 3. Formaleta de construcción de puente en sección viga cajón.....	20
Imagen 4. Dovela "0" viaducto de Tenoya, Gran Canaria.....	21
Imagen 5. Viaducto De Fréburge, Francia. Construcción usando torre móvil	21
Imagen 6. Puente construido por voladizo sucesivo	22
Imagen 7. Proceso constructivo típico de puentes por avance en voladizos sucesivos.....	22
Imagen 8. Puente sobre el Río Peixe, Brasil.....	24
Imagen 9. Dovela con llave de cortante, Müller 1993	24
Imagen 10. Esquema de un carro de avance con vigas apoyadas en la losa superior	25
Imagen 11. Presencia de hormigoneo. Puente Rio Meldar. Tolima 2005.....	29
Imagen 12. Patología de recubrimiento insuficiente en el tablero.....	30
Imagen 13. Socavación puente Barragán-Valle Del Cauca.....	30
Imagen 14. Ataque de sulfatos en los estribos.....	31
Imagen 15. Grietas presentes en los estribos de la superestructura.....	32
Imagen 16. Contaminación del hormigón por humedad. 2006.....	32
Imagen 17. Fisuración por ataque químico del hormigón	33
Imagen 18. Falla por temperatura	34
Imagen 19. Detalle de corrosión generalizada por carbonatación del hormigón	34
Imagen 20. Eflorescencia en estribos. Puente Rio Meldar, Tolima 2006	35
Imagen 21. Deformaciones en el Puente de Savines y la Pasarela en Lille.....	36
Imagen 22. Presencia de vegetación y manchas en la superestructura, Viaducto Garcia Cadena.....	37
Imagen 23. Drenaje bajo las juntas.....	38
Imagen 24. Inyección de grietas.....	38
Imagen 25. Efecto de la corrosión	39
Imagen 26. Encamisado de pilas.....	39
Imagen 27. Anclajes para recrecimiento de la estructura.....	40
Imagen 28. Recrecimiento de sección, Viaducto García Cadena	41
Imagen 29. Bandas polimericas de fibra, FRP.....	43
Imagen 30. Reforzamiento con FRP, Puente Pumarejo	43
Imagen 31. Reforzamiento con refuerzo activo externo	44
Imagen 32. Refuerzo activo sobre pila	44
Imagen 33. Tipos de refuerzo a flexión en vigas postensadas	45
Imagen 34. Montaje de carros de avance en la construcción del puente Plato.....	46

Imagen 35. Construcción Puente Farallones 1991	46
Imagen 36. Construcción del puente Pipiral, con dovelas fundidas in situ	47
Imagen 37. Puente Juanambu, Pasto	47
Imagen 38. Carros de avance en Viaducto Helicoidal	48
Imagen 39. Construcción dovela Puente Helicoidal	48
Imagen 40. Perfil del puente Humea, con sus respectivas dovelas	49
Imagen 41 Puente Humea	49
Imagen 42. Fundida de Dodela en el puente principal, Apoyo 7.	49
Imagen 43. Encofrado Puente Buga-Buenaventura.....	50
Imagen 44. Montaje de Carro de Avance.....	51
Imagen 45. Dodela de Cierre 4-5 eje 3 y 4	51
Imagen 46. Puente Madre Laura, Medellín	52
Imagen 47. Ejecución del Puente Madre Laura, Medellín	52
Imagen 48. Puente Cajamarca	53
Imagen 49. Puente Pescadero, vía San Gil-Bucaramanga.....	53
Imagen 50. Puente de Plato Magdalena	54
Imagen 51. Cierre de Dodelas y Puesta en funcionamiento Puente el Tablazo	54
Imagen 52. Dodela de cierre Terminación obra Puente Mata de Cacao.....	55
Imagen 53. Puente Pujamanes	56
Imagen 54. Avance en dovelas sucesivas, Puente El Ramo	56
Imagen 55. Puente Geo Von Lengerke, Carros de avance.....	57
Imagen 56. Panorámica del Puente Pumarejo.....	58
Imagen 57. Localización de grietas por cortante en el tablero principal	59
Imagen 58. Pérdida de agregado grueso en las pilas, por efectos de la socavación.....	59
Imagen 59. Daño en la viga cabezal, refuerzo a la vista.....	60
Imagen 60. Patología por humedad	60
Imagen 61. Corrosión en las vigas.....	61
Imagen 62. Grietas de cortante en la viga cajón	61
Imagen 63. Demolición de concretos en mal estado.....	62
Imagen 64. Saneado de acero de refuerzo corroído.....	62
Imagen 65. Reparación con SikaTop 122.....	63
Imagen 66. Aplicación de recubrimiento y protector SikaColor 555W.....	63
Imagen 67. Retiro de concreto en mal estado	63
Imagen 68. Colocación de concreto nuevo curado con Antisol (Sika)	64
Imagen 69. Recubrimiento de la viga cajón con SikaColor 555W.....	64
Imagen 70. Inyección de grietas, para aplicación de FRP	65
Imagen 71. Reforzamiento a cortante con SikaWrap 300C en dos direcciones.....	65
Imagen 72. Aplicación de FRP en dos direcciones	66
Imagen 73. Daños en la estructura del relleno, y localización de hexápodos en las márgenes del puente	67

Imagen 74. Fisura y hundimiento de la estructura de pavimento, acceso a Barrancabermeja.....	67
Imagen 75. Colapso banca en terraplén de acceso lado Yondo.....	68
Imagen 76. Proceso de reconstrucción y reforzamiento en el estribo, sector Yondo.....	68
Imagen 77. Perfil general Puente Geo Von Lengierke.....	69
Imagen 78. Panorámicas puente Geo Von Lengierke.....	69
Imagen 79. Demolición espaldar estribo eje 6 y posterior reconstrucción.....	70
Imagen 80. Demolición de Topes sísmicos en eje 5.....	71
Imagen 81. Colocación de Gatos Hidráulicos para levantamiento de las vigas.....	72
Imagen 82. Gateo de las vigas postensadas con sistema de control central de cargas.....	72
Imagen 83. Movimiento horizontal de las vigas para llevarlas a su posición original.....	73
Imagen 84. Recalce de las vigas postensadas con platinas metálicas en estribo eje 6.....	73
Imagen 85. Reconstrucción de Espaldar y aletas en estribo eje 6.....	74
Imagen 86. Instalación de Juntas tipo freyssinet y VSL en eje 4,5 y 6.....	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos comunes en presencia de patologías	27
Tabla 2. Causas de patologías en cimientos.....	28
Tabla 3. Causas de patología en pilas	28
Tabla 4. Causas de patología en estribos	29
Tabla 5. Causas de patología en el tablero.....	29
Tabla 6. Clasificación de las Grietas	31

GLOSARIO

Acero activo (preesfuerzo)

Acero de alta resistencia con baja relajación utilizado en elementos de concreto preesforzado, en puentes este acero es el que permite la construcción de grandes luces por medio de voladizos sucesivos, permitiendo unir las dovelas para que trabajen como una viga continua.

Curado

Tratamiento que se da al hormigón, mortero, etc. Después de su colocación a fin de mantener húmedas sus superficies, lo cual impide la rápida evaporación del agua de amasado. Esta tarea suaviza la retracción del material y evita su agrietamiento por desecación brusca.

Dovela

Elemento constructivo en concreto preesforzado el cual puede ser fundido in situ o prefabricado, que al ser unido entre si conforma la viga cajón de la súper estructura.

Fisura

En general, rotura que aparece en cualquier material como consecuencia de la existencia de tensiones, externas o internas, superiores a la capacidad resistente del mismo, que se manifiesta en forma de hendidura o grieta longitudinal poco profunda y abertura menor a 1 mm.

Grietas

Hendidura o abertura longitudinal, de ancho mayor de 1 mm, que se hace en un cuerpo sólido producido por diferentes causas tales como acciones exteriores o por defectos del material. Si el ancho es inferior a 1 mm se denomina fisura.

In situ

Designa un método o técnica que se utiliza o tiene lugar en el mismo emplazamiento de la obra.

Puente por voladizos sucesivos

Hace referencia a un procedimiento de construcción utilizado con frecuencia en puentes de grandes luces. El método consiste en construir la superestructura (tablero) a partir de las pilas, agregando simétricamente tramos parciales (dovelas) que se apoyan del tramo anterior, terminando en los centros de luz para ser unidos por una dovela de cierre.

Retracción de fraguado del concreto

Deformación en el concreto dependiendo del tiempo, causada por el secado y los cambios químicos durante el proceso de fraguado.

Subestructura

Hace referencia a la cimentación, estribos y pilas centrales que soportan la superestructura.

Superestructura

Parte del puente apoyado en las pilas o estribos, conformado el tablero del puente, que consta de vigas, losas y dovelas.

Viga cajón

Viga con sección abierta en forma de u constituyendo el elemento más potente de la prefabricación actual. Permite adoptar soluciones análogas a los puentes "in situ"

Zona sobre cimbra (dovela cero)

Para el caso de los voladizos sucesivos, se denomina así a la zona de unión, entre la pila y la súper estructura sobre la cual se apoya los carros de avance para iniciar el proceso de la construcción de las dovelas por medio de voladizos sucesivos.

RESUMEN

TÍTULO:

ESTUDIO DE LAS PRINCIPALES PATOLOGÍAS Y TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO PARA PUENTES EN CONCRETO POSTENSADO CONSTRUIDOS POR AVANCE EN VOLADIZOS SUCESIVOS FUNDIDOS IN SITU*

AUTORES:

EDGAR EDUARDO PARRA
MAYRA ALEJANDRA ZEA ACEVEDO**

PALABRAS CLAVES:

Patología, viga cajón, concreto, acero, voladizo, in situ.

DESCRIPCIÓN

El crecimiento poblacional, así como el crecimiento geográfico y la expansión territorial han promovido el crecimiento de la infraestructura vial en el país, el cual cuenta con un número significativo de puentes que salvaguardan grandes luces debido al relieve montañoso del país. Esto ha impulsado la construcción masiva de puentes por el método de voladizos sucesivos en las últimas décadas, el cual ha dado una solución propicia a la construcción en zonas de difícil acceso.

Este sistema constructivo ha sido implementado desde la década de los 70's, y a lo largo del tiempo, se han estudiado diversas formas de mejorar su comportamiento estructural, para reducir con ellos los impactos de daños sobre la misma. Debido al impacto que ha tenido esta construcción, la ingeniería en Colombia ha fijado su atención en el estudio de las patologías más frecuentes presentada por funcionamiento o por la misma construcción de la estructura y a las técnicas de rehabilitación adecuadas para recuperar o reforzar la estructura.

De esta manera, se hace un compilado de las principales patologías y tipos de fallas que se han presentan en las estructuras de puentes con tipología viga-cajón construidos por avance en voladizo, alrededor del mundo. Identificando igualmente los procesos de rehabilitación más usados.

* Trabajo de Grado, modalidad monografía

** Universidad Industrial de Santander. Facultad De Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil.
Phd Álvaro Viviescas

ABSTRACT

TITLE:

STUDY OF MAIN PATHOLOGIES AND REINFORCING TECHNIQUES FOR PRE-STRESSED CONCRETE BRIDGES CONSTRUCTED BY CONSECUTIVE CANTILEVERS CAST IN SITU*

AUTHORS:

EDGAR EDUARDO PARRA
MAYRA ALEJANDRA ZEA ACEVEDO**

KEYWORDS:

Pathology, box girder, concrete, steel, cantilever in situ.

DESCRIPTION

The population growth, demographic growth and territorial expansion boosted the road infrastructure development in Colombia. Due to the mountainous terrain, Colombia has a significant amount of bridges that safeguard long spans. In recent periods, box girder cantilever bridge system has increased in areas difficult to access.

Since the 70's decade, the experts have studied different methods to improve the structural behavior of box girder cantilever bridge system, reducing the damages over the structure. In Colombia, the engineers are studying the most popular pathologies caused by the use or the construction of the structure. Also, the adequate techniques for restoration and strengthen of the structure.

For these reasons, the document compiles the main pathologies and type of failures presented in the construction of bridges with topology box girder cantilever bridge. Also, identifying the most common process of rehabilitation.

* Trabajo de Grado Modalidad, Monografía.

** Universidad Industrial de Santander. Facultad De Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil.
Phd Álvaro Viviescas

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la necesidad de interconectar vías en zonas de difícil acceso con topografía montañosa ha incentivado la construcción de puentes, basados en la uso de la estructura y proceso constructivo de la misma, evidenciándose con ello diferentes tipologías de puentes, tales como puentes de vigas, puentes de losa, puentes arco, puentes atirantados, puentes con sección en cajón, entre otros. En este caso se hará un enfoque directo en los puentes construidos a partir de la tipología Viga Cajón, construidos por el sistema de avance en voladizos sucesivos. Este sistema constructivo es utilizado para superar grandes luces, donde la zona de construcción no es de fácil acceso, siendo una solución aplicable en la mayoría de los casos.

En dado caso, la durabilidad de los puentes es de vital importancia para el funcionamiento de las redes viales de un país y es indispensable que presenten un buen comportamiento durante su vida útil, igualmente es pertinente conocer las patologías comunes presentes en ellos, para tener un control de calidad de manera regular y adecuadas técnicas de reparación o rehabilitación en caso de que se deban intervenir. Se debe tener presente que estos daños pueden ser consecuencia de falencias en los diseños y en las etapas constructiva de la superestructura, así como agentes externos (sobrecarga, carbonatación, efectos sísmicos, entre otros).

Este caso de estudio estará centrado en las patologías presentadas en los puentes viga-cajón construidos por el sistema de avances en voladizos sucesivos, con develas prefabricadas o fundidas in situ, siendo con ello estructuras de construcción adecuadas para zonas de difícil acceso de maquinaria para su elaboración, ahora bien, se debe resaltar que la Construcción de Puentes en Colombia se encuentra enmarcada bajo la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP 14), la cual actualizo el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCP 95) y se encuentra basada en las especificaciones americanas de diseño AASHTO.

1. MARCO TEORICO

La construcción de puentes data de la prehistoria, cuando se evidenciaban caminos de herradura, por medio de los cuales se conectaban pequeñas zonas aledañas para buscar el desarrollo e intercambio de bienes entre la población. De esta manera los primeros puentes fueron construidos en madera y piedra, estos últimos construidos en forma de arco, teniendo en cuenta que este material no posee resistencia a la tracción y que la tipología en arco funciona de manera adecuada en la resistencia de compresión.

Imagen 1. Puentes de la prehistoria



Fuente: <http://es.slideshare.net/ralf2627/libro-de-puentes>

Imagen 2. "Clam Bridge" construido en roca, Inglaterra



Fuente: [http://www.ecured.cu/Clam_Bridge_\(Puente\)](http://www.ecured.cu/Clam_Bridge_(Puente))

Alrededor del año 70 a. C. se desarrolló la construcción de los primeros puentes colgantes en madera y cuerda, que luego fueron sustituidos por puentes en acero

hacia el 250 d. C. Uno de los puentes representativos de esta era es el puente que cruza el río Tiber en Roma, el cual contaba con entramado de hierro.

Ahora bien, si se hace referencia a los puentes viga cajón, se deberá tener en cuenta que su implementación viene de cerca de 1960, año hacia el cual se proyectaron nuevas rutas de avance por efecto del crecimiento poblacional. No obstante, muchos de estos puentes sufrieron fallas y colapsos, por lo cual fueron rediseñados y reforzados con el pasar de los años un ejemplo de ello, es el puente Irwell Valley, construido en 1960 y reforzado en 1970 y 2000.

1.1. Puentes de Sección Cajón

Los puentes de sección viga cajón constan de dos losas, superior e inferior y las almas, la primera de las losas se encarga de soportar las cargas de uso de la súper estructura para transferirla a las almas de la misma, que finalmente transfieren la carga a los apoyos del puente, igualmente se encargan de asumir el cortante al que es sometido el puente. Por su parte la losa inferior asume la torsión y el pretensado de los tendones. De esta manera la sección viga cajón favorece la torsión, y la resistencia de momentos flectores.

Imagen 3. Formaleta de construcción de puente en sección viga cajón



Fuente: Innovation in Bridge Design and Construction: Composite Box Girder Bridge

1.2. Método de Avance en Voladizo

Es un método utilizado en la construcción de puentes de grandes luces, con zonas de difícil acceso para la construcción de pilas intermedias sobre las cuales se apoya la superestructura. De esta manera es un método adecuado para construcción in situ o por medio de dovelas prefabricadas. Este procedimiento tiene un avance unidireccional, por medio de carros de avance, cuyo punto de partida es la zona sobre cimbra o dovela "0" que es el punto de unión entre la pila

y el tablero, a partir de la cual se realiza un avance simétrico a lado y lado de la misma hasta llegar a la dovela de cierre.

En este sistema los carros de avance son utilizados como apoyo de la formaleta de la sección que se desea construir, en este caso las vigas cajón de la estructura, las cuales se funden luego de encofrar la formaleta y localizar el correspondiente acero de refuerzo y preesfuerzo. Al presentarse el curado de la dovela "0", se procede a desplazar el carro de avance, de tal forma que su nuevo apoyo este sobre esta última, realizando el proceso nuevamente para con ello construir completamente el tablero del puente, y así generar que la estructura se comporte como una viga continua, al realizarse el pretensado.

En muchas ocasiones el efecto del voladizo en los apoyos, genera la colocación de apoyos temporales o torres móviles para sostenerlos.

Imagen 4. Dovela "0" viaducto de Tenoya, Gran Canaria



Fuente: <https://elblogingenierocivil.wordpress.com/tag/dovelas-sucesivas-in-situ/>

Imagen 5. Viaducto De Fréburge, Francia. Construcción usando torre móvil



Fuente: CHEN, Wai-Fah y Duan, Lian. Bridge Engineering Handbook. Cap. 11.3

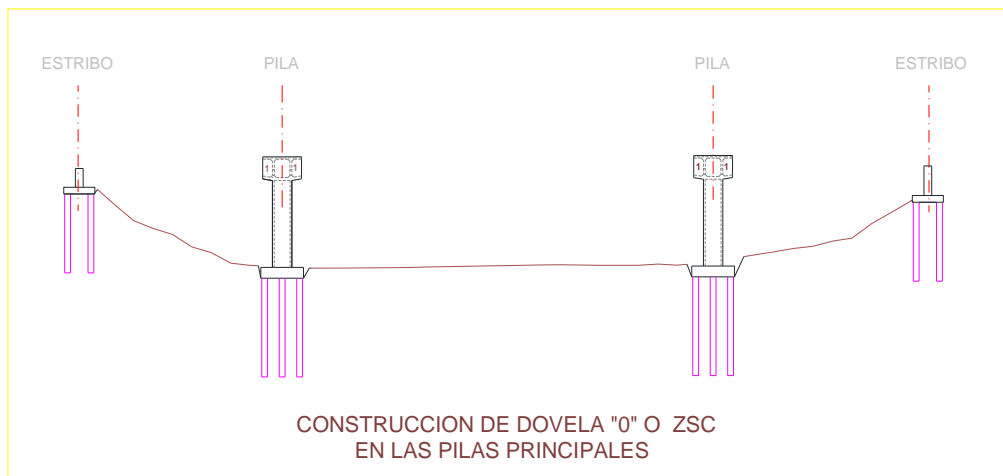
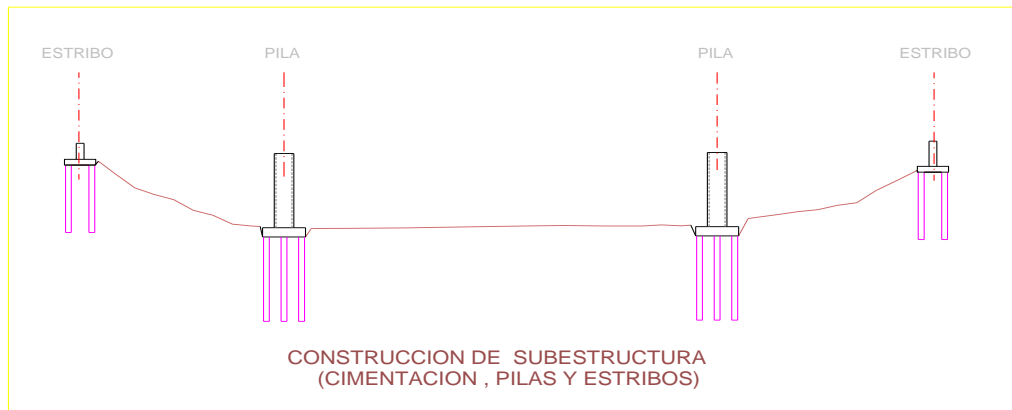
Imagen 6. Puente construido por voladizo sucesivo

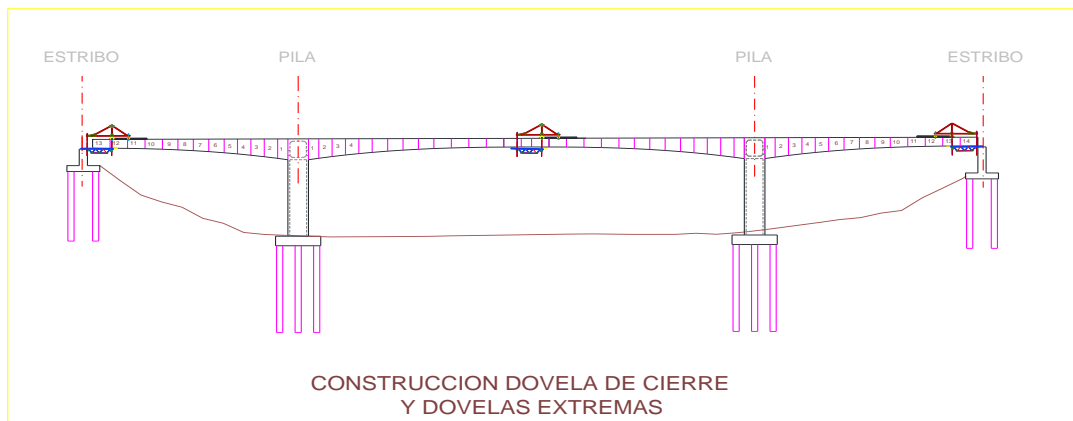
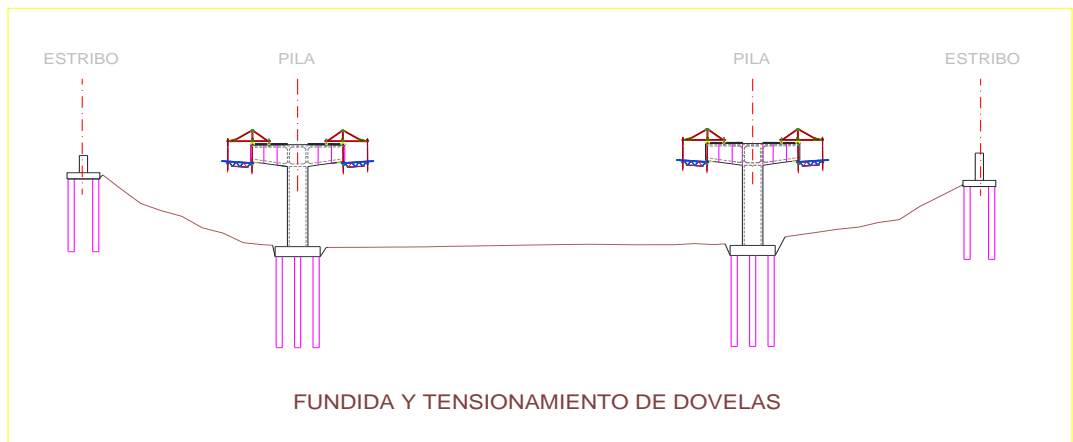
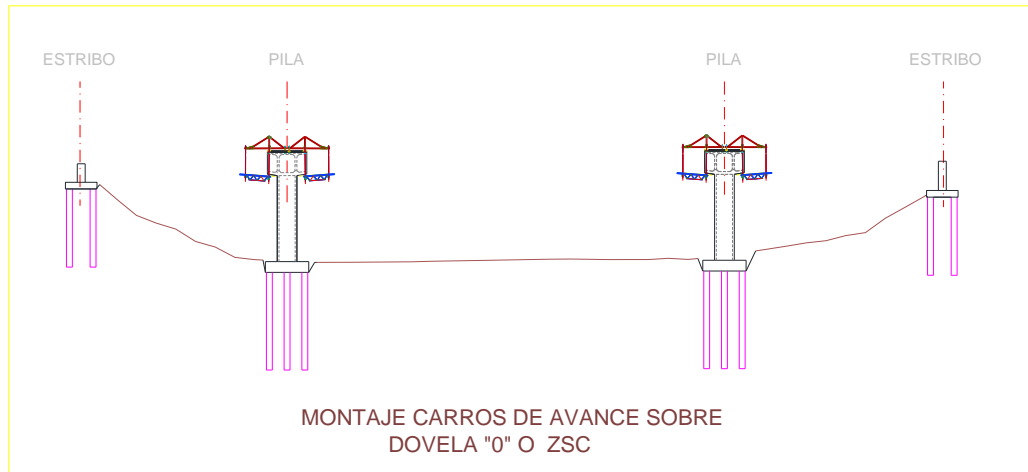


Fuente: <http://www.bienalesdearquitectura.es/index.php/es/proyecto?obra=01BI-76>

1.2.1. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA POR AVANCE EN VOLADIZOS SUCESIVOS

Imagen 7. Proceso constructivo típico de puentes por avance en voladizos sucesivos





1.2.2. HISTORIA DE LAS CONSTRUCCIONES MEDIANTE VOLADIZOS

El método de voladizos sucesivos tuvo sus inicios en la construcción de puentes de madera en Asia y su primera aplicación en concreto se remonta hacia 1930, en

el puente sobre el Río Peixe o Puente de Herval en Brasil cuya luz principal era de 68 m, hasta 1983 luego de su colapso.¹

Imagen 8. Puente sobre el Río Peixe, Brasil



Fuente: <http://www.cimentoitambe.com.br/uma-historia-de-um-seculo/>

Los voladizos tuvieron un gran auge hasta 1960, cuando se empezó a implementar la construcción a partir de elementos prefabricados, método implementado por el ingeniero Jean M. Müller.

Imagen 9. Dovela con llave de cortante, Müller 1993



Fuente: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6153/06CAPITULO2.pdf?sequence=6>

P. E Mondorf hace referencia a la aparición de la construcción en voladizos a mitad del siglo XX².

- Puente Plougastel en Francia (Freyssinet, 1928) con una longitud de 888m y tres luces principales de 188m.
- Puentes sobre el río Peixe (Baumgart, 1929) con una luz principal de 68.5m.

- Puente sobre la Marne o Esbly Bridge en Francia (Freyssinet, 1947-1950), uno de los primeros puentes construidos con cables postensados, con una luz principal de 74m.
- Puente Balduinstein (Finsterwalder, 1950) este puente utiliza barras postensadas, construido por voladizos sucesivos en Alemania con una luz de 62m.

A partir de 1950, se promovió la construcción por voladizos sucesivos usando cables de postensados:

- Pont de Beaucaire (1957-1958) construido en Francia con dos luces de 83.7m y tres luces de 141.1m. Fue un puente reemplazado en 1990.

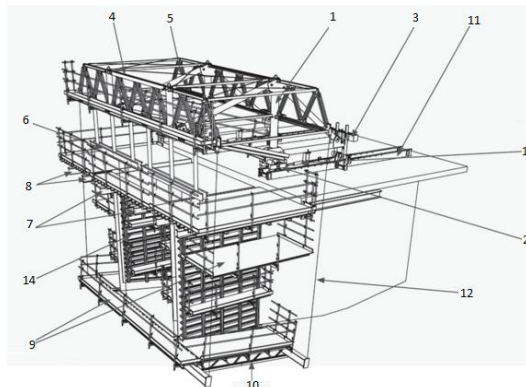
1.2.3. CONSTRUCCIÓN CON DOVELAS *IN SITU*

En la construcción in situ, se hace necesaria la presencia de carros de avance sobre los cuales soportar la estructura. Estas estructuras de acero se apoyan sobre la losa superior de la superestructura, llevando en su parte delantera barras de suspensión de las formaletas y las plataformas de trabajo, y son anclados en la parte inferior a la dovela ya terminada.

Existen tres principales carros de avance:

- Carro de avance con vigas situadas encima de la losa superior
- Carro de avance con vigas situadas a lo largo de las almas de la sección viga cajón
- Carro de avance con vigas situadas por debajo de la losa inferior.

Imagen 10. Esquema de un carro de avance con vigas apoyadas en la losa superior



Fuente: <http://www.ulmaconstruction.com/es/encofrados/encofrado-puentes/carro-avance-cvs>

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Cercha principal de carga. | 8. Estructura soporte aleros. |
| 2. Viga riel y apoyo delantero. | 9. Plataformas de trabajo. |
| 3. Viga riel y apoyo trasero. | 10. Estructura soporte inferior. |
| 4. Arriostramiento transversal. | 11. Carriles de avance. |
| 5. Arriostramiento Longitudinal. | 12. Barras y anclajes. |
| 6. Soporte Suspensión. | 13. Hidráulica. |
| 7. Encofrado losa superior. | 14. Encofrado alma |

Elementos del carro de avance:

- Viga Carril: son las estructuras sobre las cuales se desplaza el carro por medio de gatos hidráulicos
- Vigas Principales: son las encargadas de resistir las solicitaciones transmitidas por los encofrados y las transmite al tablero donde se encuentran ancladas.
- Viga celosía: situadas en la parte superior unen el conjunto superior con los elementos suspendidos.
- Encofrado: conformado por la formaleta exterior, la formaleta interior y la plataforma interior.
- Plataformas de trabajo: son las pasarelas de trabajo, disponen de medidas de protección colectivas de tránsito.
- Contrapeso: mantienen el equilibrio del carro a medida que avanza.
- Anclajes: se agarran a la última dovela fundida para dar estabilidad al carro.

2. PATOLOGIAS EN PUENTES EN CONCRETO

Al hablar de patología, en ingeniería estructural se hace referencia al campo que estudia el comportamiento de fallas en una estructura³, profundizando en el diagnóstico del problema. En puentes, estas patologías variaran de acuerdo a la tipología del mismo, por efecto en la falta de simetría, las consideraciones estéticas y el mismo uso de la estructura, que generan una reducción de la resistencia promoviendo una falla estructural.

En la actualidad los movimientos sísmicos de gran magnitud generan cargas y deformaciones adicionales que exceden las fuerzas de diseño usados en la estructura; estas sobrecargas al igual que la etapa de funcionamiento del sistema, pueden generar deflexiones excesivas que se pueden manifestar en grietas y fisuras

En general, la patología analiza detalladamente el problema, causas, consecuencias y formas de manifestación, para finalmente buscar una solución a este, bien será por reparación o reconstrucción⁴.

Tabla 1. Tratamientos comunes en presencia de patologías

TRATAMIENTO	CARACTERISTICAS
Recuperación	Ejecución de procedimientos por medio de los cuales recobrar la resistencia de la estructura.
Restauración	Se enfoca en las condiciones estéticas de la estructura
Reforzamiento	Se enfatiza en el aumento de capacidad de la estructura.
Limitación de Vida útil	Es aplicable cuando la recuperación no es viable económicamente
Demolición	Generalmente se recurre a este caso, cuando no hay manera viable de recuperar y reforzar la estructura, puede ser de carácter parcial o total.

El concreto en sí mismo presenta patologías por efectos de las propiedades de sus materiales, así como de las condiciones ambientales a las que es sometido.

2.1. CAUSAS DE PATOLOGÍAS EN PUENTES

Una de las principales causas en la presencia de patologías en las obras de concreto pre-esforzado y reforzado es el ambiente corrosivo al que se someten. Estas causas pueden ser divididas en intrínsecas y extrínsecas, las primeras generadas dentro de la estructura en sí misma, pueden ser producto de una mal construcción, así como de una mala calidad de los materiales. Por su parte los daños por causas extrínsecas se generan por agentes independientes a la estructura en sí misma, presentados en el momento de su construcción⁵.

Tabla 2. Causas de patologías en cimientos

PATOLOGÍAS EN CIMIENTOS	Mal funcionamiento por	Descalce de zapatas
		Rotación
	Deformación excesiva del terreno de tipo	Plástico
		Elástico
		Diferido (suelos Arcillosos)
	Falla estructural	Flexibilidad excesiva de pilotes
		Falla en la armadura de acero
		Mala calidad del Hormigon

Tabla 3. Causas de patología en pilas

PATOLOGÍAS EN PILAS	Fisuras	Retracción
		Pandeo de la Armadura vertical por flexión y cortante
		Tensiones concentradas
	Perdida del Concreto	
	Desplome	
	Mala calidad de los materiales	

Tabla 4. Causas de patología en estribos

PATOLOGÍAS EN ESTRIBOS	Fisuración	Retracción del hormigón
		Heterogeneidad del terreno
		Deficiencia en la armadura
		Acción química
	Descascaramiento	
	Defectos de construcción	
	Hormigueros	
	Humedad	Aguas superficiales
		Aguas filtradas

Imagen 11. Presencia de hormigoneo. Puente Rio Meldar. Tolima 2005.



Fuente: file:///F:/MONOGRAFIA%20ESPECIALIZACION/docu_publicaciones4.pdf

Tabla 5. Causas de patología en el tablero

PATOLOGÍAS EN EL TABLERO	Fisuras	Por Flexión y Cortante en la cabeza de apoyos
		Corrosión en la armadura
	Manchas de humedad	
	Recubrimientos insuficientes	

Fuente: <http://blog.hidrodemolicion.com/2013/04/patologia-en-puentes-de-hormigon.html>

Imagen 12. Patología de recubrimiento insuficiente en el tablero



Fuente: http://www.ideam.es/rehabilitacion_e_inspeccion

2.2. MANIFESTACIONES DE LA PATOLOGIA

2.2.1. SOCAVACIÓN

Teniendo presente que las principales construcciones de puentes bajo el método de voladizos sucesivos en el país, realizan su cimentación en laderas, en zonas secas y húmedas (ríos), se debe considerar el proceso de erosión sobre el terreno, que pone en riesgo la estabilidad de la estructura, ello considerando que un desplazamiento en la estructura de cimentación, generara esfuerzos adicionales no premeditados en el diseño del tablero.

La socavación se puede presentar principalmente por una mala construcción de los cimientos, inestabilidad del terreno, y acción continua de agua, es un proceso típico en los estribos, pilas y cimentación de puentes.⁶

Imagen 13. Socavación puente Barragán-Valle Del Cauca



Fuente: Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. INVIAS. 2006.

“En base a la experiencia desarrollada por IDEAM, estos daños suelen presentarse en puentes y estructuras antiguos, con más de 40-60 años en servicio, así como en obras de reciente construcción de menor entidad (marcos, pontones,..) Sin descartar por ello puentes más modernos y de gran envergadura.”⁷

2.2.2. FALLAS EN LOS APOYOS

Estas fallas se presentan principalmente por un dimensionamiento incorrecto en los apoyos, así como de las sobrecarga de uso. Igualmente se puede presentar por la presencia de agentes corrosivos en los estribos de la superestructura, así como presencia de humedad.

Imagen 14. Ataque de sulfatos en los estribos



Fuente: http://www.ideam.es/puente_sobre_el_rio_tajo_ambas_calzadas

2.2.3. GRIETAS

Se presentan por deformaciones en la estructura, que pueden ser generadas por efectos de la flexión, tensión o compresión, o por esfuerzos cortantes o torsión (estados críticos de leve colapso), por aumento de cargas, desplazamientos de la cimentación, inestabilidad elástica (pandeo), igualmente pueden ser provocadas por efectos del material, por contracción, por la temperatura, y efectos provocados por cargas medio ambientales o mecánicas. Las grietas pueden clasificarse según Raine⁸

Tabla 6. Clasificación de las Grietas

TIPOS DE ABERTURA	TAMAÑO
Fisura Capilar	Menor a 0.2 mm

Fisura	Desde 0.2 mm a 0.5 mm
Surco	Desde 0.5 mm a 1.5 mm
Ranura	Desde 1.5 mm a 5 mm
Fractura	Desde 5 mm a 10 mm
Brecha	Mayores a 10 mm

Imagen 15. Grietas presentes en los estribos de la superestructura



Fuente: http://www.ideam.es/?a=3&aa=2&project_id=284&project_category_id=4

- **CORROSIÓN DEL HORMIGÓN**

Su fuente de generación es una reacción química en el concreto, presentándose como lixiviación, reacción de iones o expansión. Es generada por la presencia de microorganismos biológicos que aumentan la permeabilidad del hormigón, aumentando en ello la saturación del material.

Imagen 16. Contaminación del hormigón por humedad. 2006



Fuente: file:///F:/MONOGRAFIA%20ESPECIALIZACION/docu_publicaciones4.pdf

- **CORROSIÓN DEL ACERO REFORZADO**

Se presenta por la porosidad, alta capilaridad, poco recubrimiento o grietas en la estructura de concreto, que permite que el acero se someta al ambiente agresivo en el que se construye la superestructura. Uno de los principales agentes es la carbonatación, efecto de la concentración de dióxido de carbono en el concreto lo cual reduce su pH significativamente, haciendo que el acero se encuentre en un ambiente ácido que promueva su corrosión⁹.

Los daños causados por el proceso de corrosión de la armadura en la superestructura, se reflejan en fisuras en el concreto en dirección al armado, descascaramiento o desprendimiento del recubrimiento (que en muchos casos es insuficiente).¹⁰

Imagen 17. Fisuración por ataque químico del hormigón



Fuente: http://www.ideam.es/?a=3&aa=2&project_id=287&project_category_id=4

- **FALLAS POR IMPACTO**

Se presencian durante el funcionamiento de la superestructura. Estas fallas serán directamente proporcionales al cuerpo de impacto que actúe sobre la estructura (un auto, un disparo, una bomba, entre otros) y la magnitud de fuerza con la que se impacte sobre la misma. En dado caso, generará la propagación de grietas, fisuras o en el peor de los casos, deteriorará la superestructura a tal punto de perder rigidez y finalmente colapsar.

En este tipo de fallas también se pueden considerar las alteraciones ocasionada por un conato de incendio sobre la superestructura, el cual altera la capacidad del concreto, y genera una variación en su módulo de elasticidad.¹¹

Imagen 18. Falla por temperatura



Fuente: <http://blog.hidrodemolicion.com/2013/04/patologia-en-puentes-de-hormigon.html>

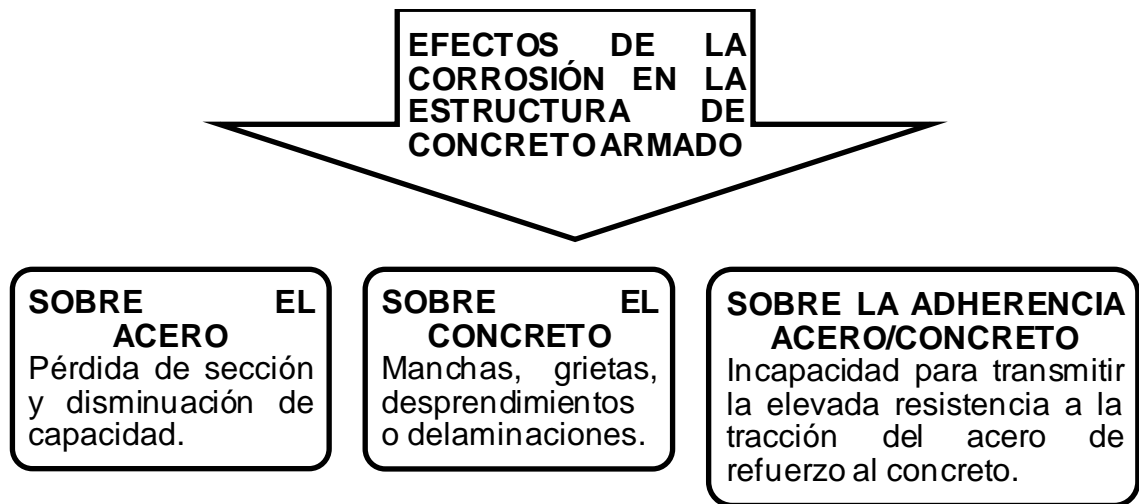


Imagen 19. Detalle de corrosión generalizada por carbonatación del hormigón



Fuente: Medidas eficientes en la conservación de puentes. IDEAM. España

2.2.4. REACCIONES QUÍMICAS

En este margen, entran las reacciones ajenas a las realizadas en la hidratación del concreto, dando con ello paso a reacciones nocivas, conocidas como reacciones expansivas: reacción alcalina del agregado, reacción alcalina dolomita, feldespato calcio sódico, ataque de sulfatos.

Una de estas reacciones se evidencia en la eflorescencia, denominada como la acumulación de sales lixiviadas fuera del concreto, que tienden a cristalizarse luego de la evaporación del agua que las transportó hacia la superficie. Este proceso se presenta principalmente en zonas húmedas, donde el estribo de la superestructura se encuentra en contacto con el agua. Esta condición aumenta la porosidad de la estructura.¹²

Imagen 20. Eflorescencia en estribos. Puente Río Meldar, Tolima 2006



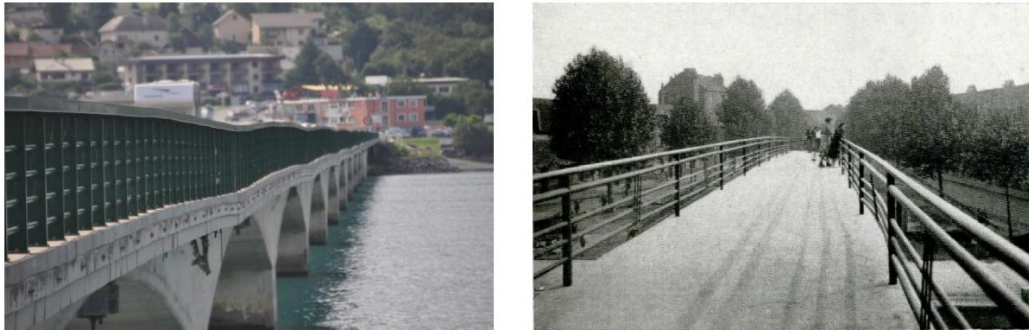
Fuente: Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. INVIAS. 2006.

2.2.5. DEFORMACIONES EXCESIVAS POR PERDIDAS DIFERIDAS (EFECTOS REOLOGICOS)

El concreto reforzado al igual que el concreto preesforzado tiende a sufrir deformaciones con el paso del tiempo debido a la fluencia y retracción del hormigón y a la relajación del acero de preesfuerzo bajo cargas permanentes. Si estos factores no son tenidos en cuenta durante el diseño y seguimiento posterior a la construcción, deformaciones excesivas se pueden presentar en los centros de luz de los puentes, afectando así los estados límites de servicio de la estructura y generando redistribuciones internas de esfuerzos que podrían afectar la vida útil.

En la imagen 21 se puede apreciar el Puente Savines en Francia que fue construido a finales de los años 50, haciendo parte de la primera generación de puentes preesforzados construidos por voladizos sucesivos el cual ha presentado deformaciones excesivas en los centros de vanos llegando a tener deformaciones entre 180 mm y 200 mm que exceden los estados límites de servicio generando malestar al usuario. También se aprecia en la Imagen la pasarela en concreto en Lille en el cual las deformaciones de la estructura han afectado las barandas.¹³

Imagen 21. Deformaciones en el Puente de Savines y la Pasarela en Lille



Fuente: Deformations différees de structures en Beton: Le cas des Ponts de Savines et de Cheviré.

3. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN Y REFUERZO DE PUENTES

Durante su vida útil los puentes en concreto sufren diferentes afectaciones por efectos de la carga de uso, agentes climáticos, ambientales, impacto, entre otros, lo cual genera daños en la estructura, no obstante, la importancia que tienen estas estructuras dentro de la malla vial y la comunicación entre las regiones, al igual que la gran inversión que se ejerce en este tipo de obras, justifica considerar opciones de rehabilitación o reparación sobre ellas. De esta manera, a continuación se describen algunas de las principales técnicas de reparación y reforzamiento de este tipo de estructuras de concreto.

3.1. REHABILITACION EN ESTRUCTURAS EN CONCRETO

En la actualidad la mayoría de los puentes presentan pequeñas patologías por efectos ambientales, como la humedad, que en general no presentan mayor impacto en la resistencia del mismo. En dado caso, la rehabilitación juega un papel importante, en la estética del puente, puesto que permite adecuar la estructura estéticamente, haciendo una reparación de grietas, de concretos dañados y efectos de corrosión.

3.1.1. TIPOS DE REPARACIONES MÁS FRECUENTES

3.1.1.1. Limpieza de la zona afectada

Hace referencia a la limpieza por medio de agua a presión, de las zonas del puente o la estructura donde se localice vegetación, manchas o eflorescencias.

Imagen 22. Presencia de vegetación y manchas en la superestructura, Viaducto Garcia Cadena



3.1.1.2. Reparación del sistema de drenaje de la estructura

Teniendo en cuenta que en muchas ocasiones la corrosión se presenta por la humedad presente en la superestructura, el sistema de drenaje juega un papel importante, puesto que un mal drenado de las aguas lluvias o de tránsito sobre el puente puede generar estancamientos que promuevan la filtración de agua en el tablero y por ende en la viga, promoviendo la corrosión del acero.¹⁴

Imagen 23. Drenaje bajo las juntas



Fuente: <http://www.mageba.ch/en/794/Detail.htm?Division=Infraestructure&Structure=Expansion-joints&Level1=Longitudinal-movements-of-between-100-and-1-000-mm&Level2=Finger-joints&Product=TENSA-FINGER-RSFD>

3.1.1.3. Inyección de grietas y fisuras

Las grietas o fisuras pueden debilitar o no la función estructural, pero en muchos casos permiten el paso de filtraciones de agua, que deteriora aún más el hormigón y provoca la corrosión en las armaduras. En dado caso que las grietas y fisuras sean por retracción del concreto, se procede a realizar la inyección con lechadas de cemento o resinas epóxicas, para mejorar la estética de la estructura.¹⁵

Imagen 24. Inyección de grietas



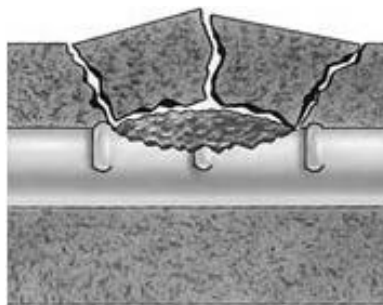
Fuente: http://www.aisplac.com.ar/sistemas_productos/productos

3.1.1.4. Reparación del acero corroído

Dependiendo de grado de corrosión y la pérdida de sección del acero presente, se procede a realizar una regeneración, sustitución, demolición o reconstrucción del total del acero afectado.

En dado caso que la corrosión se presente a lo largo del refuerzo, se observaran grietas longitudinales a través del mismo.

Imagen 25. Efecto de la corrosión



Fuente: <http://www.oyp.com.ar/nueva/revistas/221/1.php?con=2>

3.1.1.5. Encamisado de pilares

Cuando las pilas o estribos se encuentran sumergidas en ríos, se recomienda el encamisado de las mismas, para reducir con ello el impacto del agua sobre la estructura.

Imagen 26. Encamisado de pilas



Fuente: <http://www.porquesaleaguadelenchufe.es/2012/08/original-camisa-para-un-pilar.html#.VwGLZM97IU>

3.2. REFUERZO DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO

En su etapa de funcionamiento los puentes requieren aumentos de capacidad (ampliación), principalmente por el aumento de las cargas de uso, así como el deterioro de la estructura. En este sentido se presentan las siguientes alternativas:

3.2.1. RECRECIMIENTO DE HORMIGON

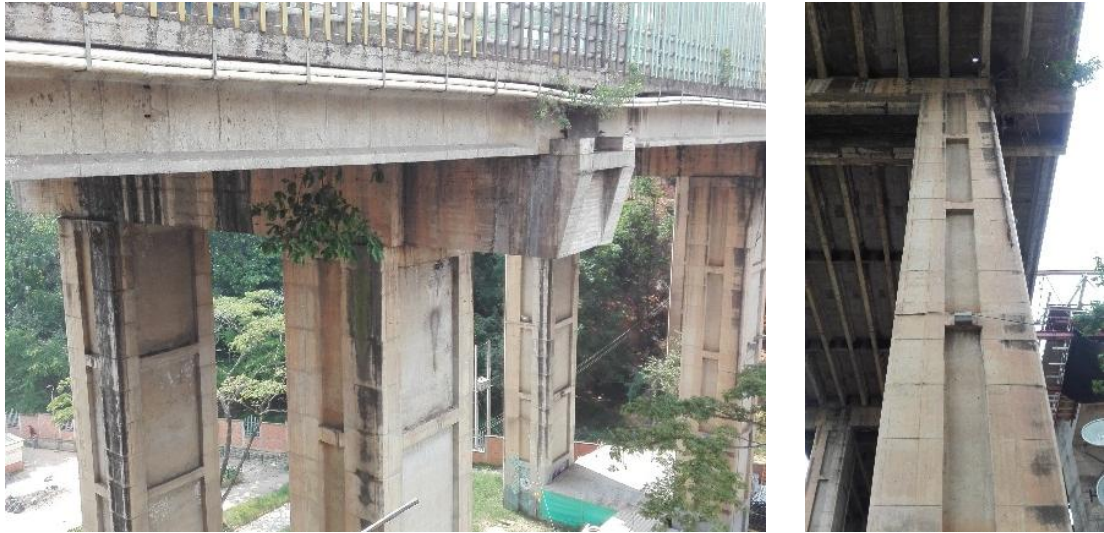
Este reforzamiento hace referencia al aumento de sección por medio de la aplicación de una capa de concreto con su respectivo refuerzo, ya sea para reparar la estructura o realizar un aumento en su rigidez. Su principal objetivo es aumentar la resistencia a compresión o tracción de la estructura, un ejemplo de esta técnica se observa en el Viaducto García Cadena en la ciudad de Bucaramanga, el cual fue construido en 1971 y posteriormente en 1994 se realizó una ampliación de carriles debido al crecimiento de la ciudad. El Viaducto García Cadena paso de un ancho de 17.20 m a 25 m adicionándose un carril en cada sentido, por ende fue necesario ampliar la vigas cabezales que reciben el tablero y realizar un recrecido en las columnas que pudieran soportar las cargas muertas y de uso adicionales. En la Imagen 28 se puede observar el estado actual del Viaducto García Cadena.¹⁶

Imagen 27. Anclajes para recrecimiento de la estructura



Fuente: <http://www.con-tecnica.com/#!reforzamiento-estructuras/c4gv>

Imagen 28. Recrecimiento de sección, Viaducto García Cadena



En mucho de los casos, la adecuación de un nuevo refuerzo en la estructura presentara dificultades técnicas, entre ellas la fijación del nuevo concreto en el concreto dañado y la protección del refuerzo a corrosión. De esta manera, se buscan nuevos materiales que favorezcan las condiciones de reforzamiento, teniendo consigo características apropiadas para las condiciones de los proyectos actuales, en resistencia, durabilidad, y resistencia a la corrosión; en este margen de ideas, en la actualidad se esa implementando el uso de “Fiber Reinforced Plastics” (FRP, por sus siglas en inglés).¹⁷

3.2.2. REFUERZO PASIVO

Hace referencia a la adhesión de elementos de refuerzo, chapas metálicas, perfiles metálicos, o elemento prefabricados, a la estructura existente. El refuerzo pasivo entra en carga bajo condiciones propias del material (retracción o fluencia) o en un momento de falla. Por medio del refuerzo pasivo, se puede mejorar el comportamiento de la estructura antes de que ésta presente alteraciones.¹⁸

3.2.2.1. REFUERZO CON FRP

El estudio de nuevos materiales en la actualidad ha tenido un gran apogeo, ello teniendo en cuenta que los investigadores buscan soluciones rápidas y efectivas ante las fallas y daños de estructuras importantes en la malla vial de un país. De esta manera en la actualidad se presentan tres grandes investigaciones: Japón enfocándose a la prefabricación, el pretensado y el refuerzo contra sismos;

América del Norte cuya investigación se enfoca hacia la durabilidad y por último las investigaciones europeas que se centran en la rehabilitación de la infraestructura. Estas últimas por medio de materiales compuestos, los cuales en sus inicios no tenían gran impacto por la falta de confiabilidad, no obstante, a través de las investigaciones y análisis de los materiales compuestos, se observó un buen comportamiento y propiedades físicas en ellos, dando la confiabilidad en el uso de los mismos en rehabilitación y reforzamiento de estructuras.

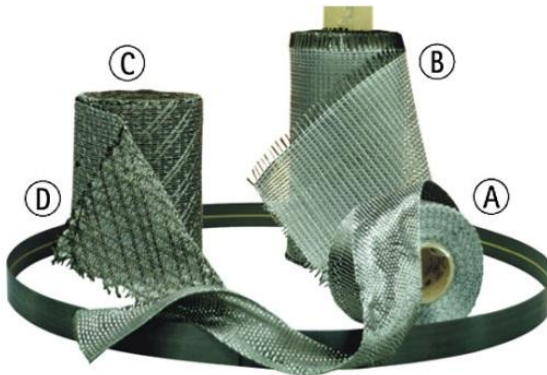
A través de los años los materiales compuestos se han ido usando en la construcción de estructuras y en su rehabilitación, así se tiene que hacia los años 30 se dio su primera utilización en la construcción del casco de un bote y progresivamente en los años 50 se implementó en el reforzamiento de estructuras de concreto. Treinta años después, se presentaron las barras de fibra de refuerzo cuyas principales características eran sus propiedades no magnéticas y a su resistencia a la corrosión. En cuanto a la utilización en puentes, en 1986 se construyó en Alemania el primer puente con tendones de FRP, y en 1992 se evidenció el primer puente peatonal construido totalmente con compuestos FRP en Escocia.¹⁹

3.2.2.1.1. VENTAJAS DE LA UTILIZACION DE FRP

Las principales ventajas de los compuestos FRP sobre los materiales comunes de construcción son:

- La ligereza de su estructura, poseen poco peso, reduciendo con ello el aumento de carga muerta en la estructura.
- Alta relación esfuerzo-peso, teniendo con ello resistencia direccional.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Resistencia al daño ambiental
- Estabilidad estructural con baja conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica.
- No son compuestos magnéticos.
- Son transparentes a la onda de radas.
- Son aislantes, con gran durabilidad.
- Requieren bajo costo en mantenimiento y alta resistencia al impacto.

Imagen 29. Bandas polimericas de fibra, FRP



Fuente: http://www.tectonica-online.com/productos/1169/bandas_polimericas_fibro-reforzadas/

De esta manera los FRP, se convierten en uno de los materiales compuestos más usados en la rehabilitación y reforzamiento de las estructuras, por las propiedades mecánicas que aportan a la misma, compuesto por una matriz de resina epóxidica y un refuerzo en fibra de carbono, que aportando resistencia a tracción en su colocación, lo cual promovió su utilización en la construcción.²⁰

Imagen 30. Reforzamiento con FRP, Puente Pumarejo

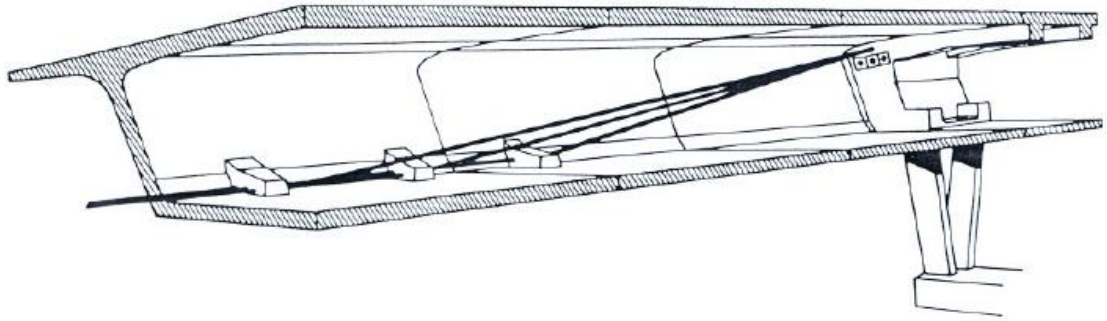


Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

3.2.3. REFUERZO ACTIVO

El refuerzo activo se refiere a la colocación de elementos pretensados sobre la estructura existente. Este tipo de refuerzo entra en carga en conjunto con la superestructura, al ser sometida a cargas. El postensado permite modificar la estática de la estructura existente, generando esfuerzos controlados,

Imagen 31. Reforzamiento con refuerzo activo externo



Fuente:<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6153/06CAPITULO2.pdf?sequence=6>

El reforzamiento activo de puentes, se puede desarrollar en puentes de diferentes materiales, metálicos o en concreto, en este caso, en puentes viga cajón con postensado puede variar su vida útil y comportamiento en función del sistema de postensado elegido y la cantidad de acero escogido.

En la actualidad podemos encontrar los siguientes sistemas de refuerzo activo:

- Tendones monocordón autoprottegidos.
- Tendón multicordón adherente o no adherente.
- Barras roscadas.
- Laminados de fibra de carbono adheridos y pretensados.
- Mono o multicordón de fibra de carbono pretensada no adherida.

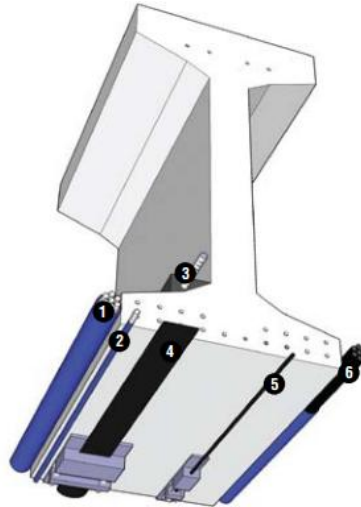
Imagen 32. Refuerzo activo sobre pila



Fuente:http://vslmex.com.mx/wpcontent/uploads/PDF/Brochures/br_rehabilitacion_estructural.pdf

3.2.3.1. REFUERZO A FLEXION ACTIVO

Imagen 33. Tipos de refuerzo a flexión en vigas postensadas²¹



Fuente:http://vslmex.com.mx/wpcontent/uploads/PDF/Brochures/br_rehabilitacion_estructural.pdf

1. **Postensado exterior mediante multicordón de acero:** este reforzamiento incrementa la resistencia de la sección y aumenta la durabilidad de la misma.
2. **Postensado exterior mediante monocordón de acero:** incrementa en menor proporción que el multicordón la resistencia de la sección, no obstante su instalación es más fácil.
3. **Postensado exterior mediante barra de acero:** genera un incremento en la resistencia de la sección, esta aplicación tiene durabilidad baja y su proceso de instalación es largo, teniendo en cuenta que requiere anclajes en el interior de la sección.
4. **Postensado exterior mediante lamina de fibra de carbono:** tiene un excelente comportamiento en la estructura puesto que su aplicación es rápida y fácil, además que la durabilidad y aumento de resistencia son significativos.
5. **Postensado exterior mediante tendón monocordón de fibra de carbono:** su impacto en la resistencia de la estructura no es significativo.
6. **Postensado exterior mediante tendón multicordón de fibra de carbono:** es el sistema que mejor se comporta en el reforzamiento estructural, por aumento de resistencia, instalación y durabilidad.

4. Puentes construidos con el método de voladizos sucesivos en Colombia²²

El método de voladizos sucesivos es un método apropiado para la topografía montañosa del país, el primer puente construido bajo este es el puente de Pumarejo, localizado sobre el Río Magdalena (1974), cuenta con 28 pilas y 2 estribos, con dos luces de 46m y 24 de 74m, contando con una luz central de 140m. Este puente está compuesto por una viga cajón de altura igual a 3m.

Seguidamente se construyó el puente sobre el Río Juanambú en Pasto (1976), el cual cuenta con dos pilas de 60m y tres luces de 45m, 90m y 45. En 1983, entro en funcionamiento el puente La Doctrina, sobre el río Sinú en Córdoba, caracterizado por una luz central de 83.60 m y luces laterales de 41.80 m, fue construido por avance en voladizos sucesivos con tablero en cajón unicelular,

Ya hacia 1990, se realizó la construcción de tres puentes representativos, el puente sobre el río Farallones con una luz principal de 142 m y luz total de 230 m, el puente de Plato Magdalena, y el puente Arturo de 110 m de luz principal, todos ellos construidos por el método de voladizos sucesivos.

Imagen 34. Montaje de carros de avance en la construcción del puente Plato



Fuente: <http://www.bienalesdearquitectura.es/index.php/es/proyecto?obra=01BI-76>

Imagen 35. Construcción Puente Farallones 1991



Fuente: <https://sites.google.com/site/jorgealvaradohojadevida/>

En 2002, entraron en funcionamiento los puentes de Sevitá con una luz central de 156 m y luces laterales de 28 m y el puente Pipiral, conformado por siete luces de 22,5 m, 62,5 m y 125 m, soportadas por dos estribos y seis pilas.

Imagen 36. Construcción del puente Pipiral, con dovelas fundidas in situ



Fuente: http://www.ingetec.com.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=37:viaducto-pipiral&Itemid=37&lang=es

En 2006, fue terminada la construcción sobre el río Sinú en Montería, cuya luz central es de 150 m y dos luces laterales de 74 m, uniendo así dos vías nacionales como Montería-Cereté con Montería-Planeta Rica. Este puente fue fundido con dovelas in situ.

4.1. PUENTE JUANAMBU

Puente localizado en la vía panamericana entre la ciudad de Pasto y Popayán, cruzando el río Juanambú. Este puente es considerado uno de los primeros construidos por el método de voladizos sucesivos en Colombia utilizando el sistema de postensados en 1975. Cuenta con una longitud total de 200 m distribuidos en luces de 20m, 45m y 90m y un ancho de 8.90m. El puente Juanambu fue construido por Augusto Ruiz Corredor.

Imagen 37. Puente Juanambu, Pasto



Fuente: <http://www.colombiamapas.net/foto/foto-narino-juanambu.html>

4.2. VIADUCTO HELICOIDAL²³

Forma parte de la concesión Autopistas del Café, en la doble calzada de Pereira a Manizales. Cuenta con una longitud total de 395.30m y una altura de viga constante de 2.20m. Se desarrolló por medio de voladizos sucesivos a partir de carros de avance, en su proceso constructivo fueron usados cuatro carros de avance. Este puente fue diseñado por GRISA y construido por Concesiones autopista del café.

Su construcción reduce el viaje Pereira-Manizales a 45 minutos de los 70 que duraba el trayecto normalmente.

Imagen 38. Carros de avance en Viaducto Helicoidal



Fuente: <http://grisacol.com/pdfs/fotosprocesohelicoidal.pdf>

Imagen 39. Construcción dovela Puente Helicoidal



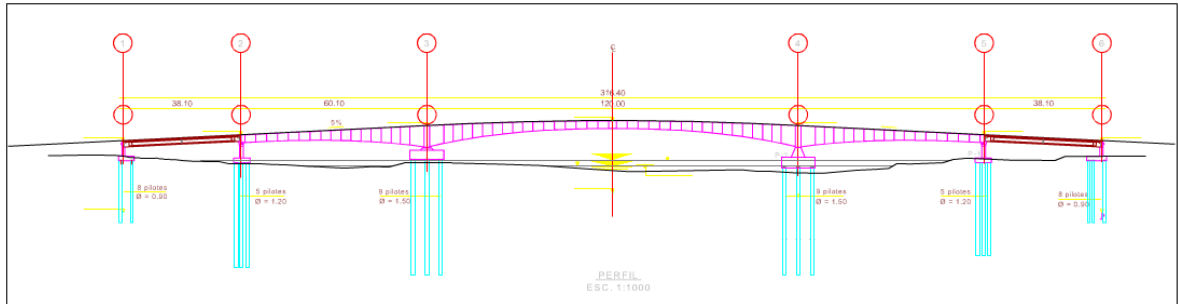
Fuente: <http://grisacol.com/pdfs/fotosprocesohelicoidal.pdf>

4.3. PUENTE HUMEA

Esta localizado en Cabuyaro (Meta), sobre el rio Humea, fue diseñado por Santander & Asociados y construidos por la unión temporal puentes de Meta en

2009. Es un puente de longitud 316.40 m, cuya luz principal es de 120 m, con altura variable de la viga cajón de 6,75 m en apoyos y 2,5 m en centros de luz y ancho de 11.60 m. La tipología del puente está basada en una viga cajón en concreto postensado, construida por voladizos sucesivos, haciendo uso de dos carros de avance.

Imagen 40. Perfil del puente Humea, con sus respectivas dovelas



Fuente: https://issuu.com/construdata/docs/construdata_159_con_portada. Pág. 38

Imagen 41 Puente Humea



Fuente: <http://cideas.com.co/index.php/component/k2/item/69-puente-humea-meta>

4.4. PUENTE DE YONDO²⁴

Imagen 42. Fundida de Dovela en el puente principal, Apoyo 7.



Fuente: Revista Santander. El puente que unió a Yondó con Barrancabermeja

El puente de Yondó bautizado como Puente Guillermo Gaviria Correa, que une el municipio de Barrancabermeja con Yondó, cuenta con una luz central de 200 m, cuyo puente principal fue diseñado para ser construido a partir de voladizos sucesivos de viga cajón forjados in situ, de esta manera se encuentra constituida por una viga continua postensada de sección cajón de altura variable entre 9,50 m en apoyos y 2,8 m en la luz central; su tensionamiento se llevó a cabo con cables de 19 torones de alta resistencia y baja relajación, de diámetro 5/8". Dichos voladizos permitían un avance máximo de 5 m, posicionando en cada avance el acero de refuerzo y los ductos de tensionamiento que terminaban en la dovela siguiente.

4.5. PUENTE LOBOGUERRERO-CISNEROS VIA BUGA-BUENAVENTURA²⁵

Imagen 43. Encofrado Puente Buga-Buenaventura



Fuente: <http://blog.360gradosenconcreto.com/puentes-en-concreto-por-voladizos-sucesivos-via-buga-buenaventura/>

Este puente hace parte de la doble calzada Buga-Buenaventura y está contemplado en el tramo 4, que posee una longitud de 14 Km de vía, en el cual se tenía prevista la construcción de 23 puentes para un total de 2.2 km. Su construcción fue desarrollada por Concreto

4.6. PUENTE GUILLERMO GOMEZ ORTIZ

Localizado sobre el río Sogamoso en Santander, en la vía Giron-Zapatoca, hace parte de los puentes sustitutivos de la hidroeléctrica de Sogamoso, tiene una longitud total de 510 m, con 3 pilas entre 42 m de 47 m de altura, cimentadas sobre pilotes de 2.5m de diámetro. Cuenta con vanos de 170 m construidos a partir de voladizos sucesivos fundidos in situ, con un ancho de tablero de 10.5m y una sección transversal de altura 8.80 m en apoyos y de 4 m en centro de luz.

Imagen 44. Montaje de Carro de Avance



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S

Imagen 45. Dovela de Cierre 4-5 eje 3 y 4



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S

4.7. PUENTE MADRE LAURA

El puente Madre Laura Localizado en la ciudad de Medellín, fue realizado a través del método de voladizo sucesivo soportados por 145 pilas, contando de esta manera con un total de 57 apoyos. Posee una longitud de 786 metros, aportando 7.24 kilómetros de carril. Su construcción fue realizada por el consorcio Berjemal en 2015.

Imagen 46. Puente Madre Laura, Medellín



Fuente: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/megaproyecto-del-puente-madre-laura-sera-entregado-en-diciembre-BM2482333>

Imagen 47. Ejecución del Puente Madre Laura, Medellín



Fuente: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/megaproyecto-del-puente-madre-laura-sera-entregado-en-diciembre-BM2482333>

4.8. PUENTE CAJAMARCA

Este puente hace parte del corredor vial Bogotá-Buenaventura contando con una longitud total de 300 m distribuidas en 74.14m+137.60m+74.15m y un ancho de 12m, se encuentra soportado por una pila principal de 86 m de altura y otra de 74m. El puente Cajamarca fue terminado y puesto en funcionamiento en el 2012 bajo el diseño de GRISA y la construcción de la Concesionaria San Rafael.

Imagen 48. Puente Cajamarca



Fuente: <http://grisacol.com/web/wp-content/uploads/2011/10/DSC01401.jpg>

4.9. PUENTE PESCADERO

Localizado en la vía San Gil-Bucaramanga. Desarrollado bajo el método de avance en voladizo en 2013 por el Consorcio VICEP.

Imagen 49. Puente Pescadero, vía San Gil-Bucaramanga



Fuente: <https://www.flickr.com/photos/92782737@N06/8433818730>

4.10. PUENTE PLATO MAGDALENA

El Puente de Plato Magdalena es uno de los más largos del país con 1073 m está ubicado entre Plato (Magdalena) y Zambrano (Bolívar) atravesando el Río Magdalena. El puente fue terminado en 1997 y cuenta con una Luz principal de 130 m, y dos luces secundarias de 64.45m, está apoyado sobre 16 pilas, más 2 estribos y se cimentó sobre pilotes entre 40 y 55 m.²⁶ su tablero cuenta con un

ancho de 11.30m. El diseño del puente plato estuvo en manos de Dario Farias & Cia, y su construcción estuvo a cargo del Consorcio Puente Plato.

Imagen 50. Puente de Plato Magdalena



Fuente <http://mapio.net/s/24125969/>

4.11. PUENTE EL TABLAZO

El Puente El Tablazo se encuentra ubicado en la Vía Bucaramanga- San Vicente de Chucuri y hace parte de las vías sustitutivas de la Hidroeléctrica de Sogamoso. El puente tiene una longitud de 560 m distribuidos en luces 40.67 m +80.25 m +160 m+ 160 m+ 80.25 m+ 40.67 m y un ancho de tablero de 10.55m, se encuentra soportado por pilas de 110 m de altura. Cuenta con una sección de viga cajón de altura variable de 4 m en centros de luz y 8.80 m en apoyos.

El Puente fue diseñado por INGETEC y construidos por Conalvias en 2013.

Imagen 51. Cierre de Dovelas y Puesta en funcionamiento Puente el Tablazo



Fuente: <http://www.fotoslugares.com.ve/imagen/nuevo-puente-el-tablazo-via-a-san-vicente.html>

4.12. PUENTE MATA DE CACAO

Puente ubicado en la Vía Sustitutiva Bucaramanga – Barrancabermeja y se encuentra localizado en el sector de Capitancitos – Puente la Paz (K 11+522 a K2+220), que forma parte del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso finalizando su construcción en Febrero de 2015.

El Puente Mata de Cacao tiene una longitud de 300 m, con una luz de 180 m que lo hacen uno de los más largos en su tipología en el país. Su ancho es de 12.45 m y su sección transversal tiene una altura de 9.0 m en apoyos y 3 m en centro de luz.

Imagen 52. Dovela de cierre Terminación obra Puente Mata de Cacao



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S

4.13. PUENTE PUJAMANES

Puente ubicado en la vía Bucaramanga- San Vicente de Chucuri y hace parte de las vías sustitutivas del proyecto Hidrosogamoso. El puente cuenta con una longitud de 244 m distribuidas en dos luces de 60.50m y una luz principal de 122m su superestructura está soportada sobre pilas de 67 m de altura, cuenta con un ancho de tablero de 10.55m. Su tipología está compuesta por una viga cajón de altura variable de 3.05m en centros de luz y 6.70m en apoyos.

El diseño del puente Pujamans estuvo a cargo de INGETEC y su construcción a cargo de Conalvias en 2013.

Imagen 53. Puente Pujamanes



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/109909440>

4.14. PUENTE EL RAMO

Puente ubicado en la vía Bucaramanga- San Vicente de Chucuri y hace parte de las vías sustitutivas del proyecto Hidrosogamoso. El puente cuenta con una longitud de 180 m distribuidos en dos luces de 44.50m y una luz principal de 90m, con un tablero de 10.55m soportado sobre pilas de 40 m de altura. Su tipología cuenta con una viga cajón de altura variable de 2.25 m en centros de luz y 4.95m en apoyos. Su diseño estuvo a cargo de INGETEC y su construcción fue llevada a cabo por Conalvias en 2013.

Imagen 54. Avance en dovelas sucesivas, Puente El Ramo



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/88925765>

4.15. PUENTE GEO VON LENGERKE

Este puente hace parte de las obras sustitutivas de la Hidroeléctrica de Sogamoso, se encuentra ubicado en la vía Girón - Betulia en Santander con una longitud de 391.05 m distribuidas en luces de 77 m+ 155 m+ 77.64 m+ 40.97 m+ 40.44 m, soportadas por pilas de 50 m de altura, posee un ancho de tablero de 6.55m compuesto por una viga cajón de sección variable de 3.30m en centros de luz y 7.75m en apoyos. Esta obra fue diseñada por INGETEC y construida en 2014 por COPCISA.

Imagen 55. Puente Geo Von Lengerke, Carros de avance



Fuente: http://www.copcisa.com/esp/fichas_obras/9004.html

5. CASOS DE ESTUDIO DE PATOLOGIAS EN PUENTES POR VOLADIZOS SUCESIVOS EN COLOMBIA

5.1. PUENTE PUMAREJO²⁷

5.1.1. ESTADO DE LA ESTRUCTURA

Se encuentra localizado en Barranquilla atravesando el Río Magdalena. Fue inaugurado al público el 6 de abril de 1974, contando con el diseño del reconocido ingeniero profesor Francisco Morandi, y construido por Cuellar-Serrano- Gomez y Lodigrani S.A.

Este puente cuenta con 28 pilas y 2 estribos, que soportan dos luces de 46m, y 24 de 74m, contando con una luz central de 140m. Su tipología es de viga cajón fundida in situ con altura igual a 3 m.

Imagen 56. Panorámica del Puente Pumarejo



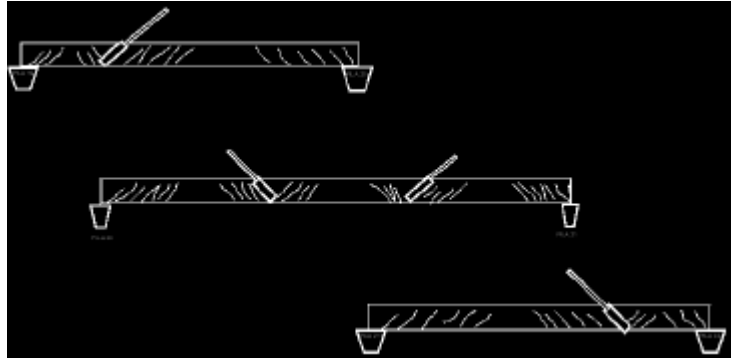
Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Durante su etapa de funcionamiento, las superestructuras son sometidas a un aumento considerable de la carga vertical para la cual fueron diseñadas, en este caso, el puente Pumarejo luego de 35 años de funcionamiento, comenzó a evidenciar distintas patologías estructurales, por consecuencia tanto de dicho aumento de cargas, como de la brisa marina cargada de cloruros y de la corriente del Río Magdalena. Entre las patologías presentes se encontraron:

- Corrosión de la armadura.
- Desportillamientos de los concretos por la corrosión.

- Pérdida del agregado grueso de las pilas por la corriente del río, por efectos de la socavación.
- Fisuras por cortante.

Imagen 57. Localización de grietas por cortante en el tablero principal



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Adicionalmente en la rehabilitación de la estructura se observó pérdida de concreto en la zona de apoyos efecto de la carbonatación y la corrosión, producto de la humedad de la zona.

Imagen 58. Pérdida de agregado grueso en las pilas, por efectos de la socavación



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Esta pérdida de agregado grueso, puede presentarse por efectos de la cavitación que se genera en la pila por el contacto con el agua, daños presenciados principalmente en zonas costeras, cuyo ambiente es agresivo para la estructura.

Esta cavitación, promueve la infiltración del agua en contacto, afectando en ello la durabilidad de las pilas.²⁸

Imagen 59. Daño en la viga cabezal, refuerzo a la vista.



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Imagen 60. Patología por humedad



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Teniendo presente que el puente de Pumarejo se encuentra localizado sobre una afluencia hídrica del río Magdalena, y sometido a altos grados de acidez por efecto de los vientos salinos productos de la marea del océano Atlántico, la presencia de daños de humedad y corrosión en su estructura fueron una de las principales patologías presentadas.

Imagen 61. Corrosión en las vigas.



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Imagen 62. Grietas de cortante en la viga cajón



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

5.1.2. REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Ésta rehabilitación se desarrolló entre el 2007 y 2008, teniendo en cuenta que la principal patología evidenciada en la subestructura y la superestructura del puente fue la corrosión y la abrasión por el contacto con el agua, se centró en el retiro de concretos en mal estado, en limpieza de las barras de acero y su progresivo recubrimiento con inhibidores de corrosión, por otra parte se encamisaron en acero las pilas en contacto con el agua, por efectos de la pérdida de agregados.

Imagen 63. Demolición de concretos en mal estado



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Luego del retiro del concreto malo, se procede a dejar ha descubierto las barras de acero que presentaban corrosión, para proceder a realizar la fijación del inhibidor de corrosión (SikaTop Armatec 110 EpoCem). Igualmente las grietas presentes en los apoyos fueron rellenadas con SikaTop 122, para finalmente cubrir la estructura de apoyos con un recubrimiento elástico, de resinas acrílicas que permiten el punteo de fisuras en el concreto (SikaColor 555W); este recubrimiento permite la impermeabilización de las zonas en contacto con el agua, así como de las brisas marinas.²⁹

Imagen 64. Saneado de acero de refuerzo corroído



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

En la rehabilitación del puente Pumarejo se usaron los aditivos y fibras de carbono, suministrados por SIKA.

Imagen 65. Reparación con SikaTop 122



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Imagen 66. Aplicación de recubrimiento y protector SikaColor 555W



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Imagen 67. Retiro de concreto en mal estado



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Imagen 68. Colocación de concreto nuevo curado con Antisol (Sika)



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Para la rehabilitación de la zona central del puente en la parte inferior del tablero, se requirió el uso de andamios anclados al tablero superior, por medio de los cuales se accedió a la reparación de las vigas longitudinales y externas de la estructura, procediendo a realizar la limpieza de las mismas, y la rehabilitación de la estructura.

Imagen 69. Recubrimiento de la viga cajón con SikaColor 555W



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Respecto a las fallas por cortante encontradas en la estructura de la viga cajón, inicialmente se llevó a cabo una adecuación de la zona de reforzamiento con inyecciones de Sikadur 35, una resina epóxica de alta resistencia utilizada para sellar las grietas presentes en la estructura, para con ello proceder a realizar un reforzamiento con fibras de carbono SikaWrap 300C.

Imagen 70. Inyección de grietas, para aplicación de FRP



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Imagen 71. Reforzamiento a cortante con SikaWrap 300C en dos direcciones



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

Imagen 72. Aplicación de FRP en dos direcciones



Fuente: Puente Pumarejo. Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. Jorge Rendón. 2015.

5.2. PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA (YONDO)

Conocido como el puente Yondo, este puente se encuentra ubicado en la vía Barrancabermeja-Yondo uniendo los Departamentos de Santander con Antioquia. Este puente diseñado por el Ingeniero Dario Farias, fue terminado en el 2006 y construido por Concreto y cuenta con una longitud de 919 m y con una luz principal entre pilas de 200 m, siendo el puente con la luz más grande en esta tipología en el país.

El 30 de noviembre de 2010 luego de llevarse a cabo una visita técnica sobre el puente, se encontraron daños de socavación en la margen izquierda de la vía Yondo, que afectaba el terraplén de acceso del puente. No obstante esta patología no tenía gran impacto en la estructura, por ende se procedió a realizar la instalación de una serie de hexápodos por medio de los cuales reducir el impacto de la acción erosiva del río sobre los estribos. Por otra parte, en el acceso a Barrancabermeja se encontraron fisuras transversales a lo largo de la junta de dilatación del puente, generadas por la pérdida de compactación del acceso.

Imagen 73. Daños en la estructura del relleno, y localización de hexápodos en las márgenes del puente



Fuente: www.invias.gov.co/index.php/historico-cartelera-virtual/doc_download/198-anexo-a-la-presente-respuesta-el-informe-de-noviembre-de-2010+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co

Imagen 74. Fisura y hundimiento de la estructura de pavimento, acceso a Barrancabermeja



Fuente: www.invias.gov.co/index.php/historico-cartelera-virtual/doc_download/198-anexo-a-la-presente-respuesta-el-informe-de-noviembre-de-2010+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co

Cuatro años después de la visita técnica realizada en febrero de 2014 el puente presenta una falla en el estribo de la margen de Yondo, debido a que el cauce del Rio Magdalena erosionó el material de relleno del terraplén de acceso causando el desplome de la placa de transferencia, fallando una parte de la banca y afectando el normal funcionamiento de la vía.

Imagen 75. Colapso banca en terraplén de acceso lado Yondo



Fuente: <http://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/248836-cierran-puente-entre-barrancabermeja-y-yondo-por-un-dano-estructura>

Para la recuperación del estribo y terraplén de acceso, se realizó un pilotaje perimetral para impedir que las aguas del río arrastren el material de relleno, y se realizó el relleno con bolsas de arena y bolsacretos para finalmente construir la losa de aproximación. Con este proceso se recuperó el acceso sur y se pudo restablecer el tránsito vehicular.³⁰

Imagen 76. Proceso de reconstrucción y reforzamiento en el estribo, sector Yondo



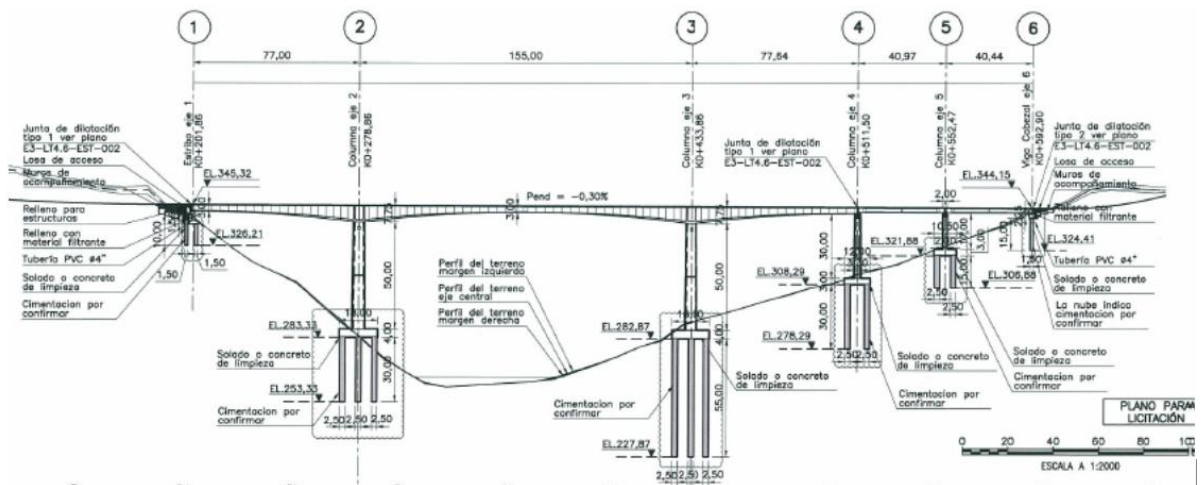
Fuente: INFORME FINAL DE ESTUDIOS Y DISEÑOS ESTRUCTURACIÓN CORREDOR VIAL BUCARAMANGA –BARRANCABERMEJA – YONDÓ.

5.3. PUENTE GEO VON LENGERKE

5.3.1. ESTADO DE LA ESTRUCTURA

El puente Geo Von Lengerke hace parte de las vías sustitutivas del proyecto hidroeléctrico Sogamoso y se encuentra en la vía que conduce de Girón a Betulia en el departamento de Santander cuya construcción se terminó en el 2014. El puente cuenta con una longitud de 391.05 y está constituido por un tramo principal en voladizos sucesivos (del eje 1 al 4) y un tramo adicional en vigas postensadas mas tablero (del eje 4 al 6). Ver imagen 77.

Imagen 77. Perfil general Puente Geo Von Lengierke



Fuente: Información disponible en la web durante el proceso de licitación

Imagen 78. Panorámicas puente Geo Von Lengerke



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S.

5.3.2. PROBLEMATICA

Una vez terminado el llenado de la represa y puesta en marcha de la hidroeléctrica, se empezó a evidenciar movimientos en el terreno que produjeron un desplazamiento en el puente en los ejes 4,5 y 6 lo cual afecto la superestructura y la subestructura. Estos movimientos hicieron que el tramo en vigas postensadas se desplazara hacia el tramo en voladizos afectando la distancia libre de la junta en el eje 4 pasando de 30 cm a 8.5 cm lo cual restringiría de forma inapropiada el movimiento del puente en caso de un sismo.³¹

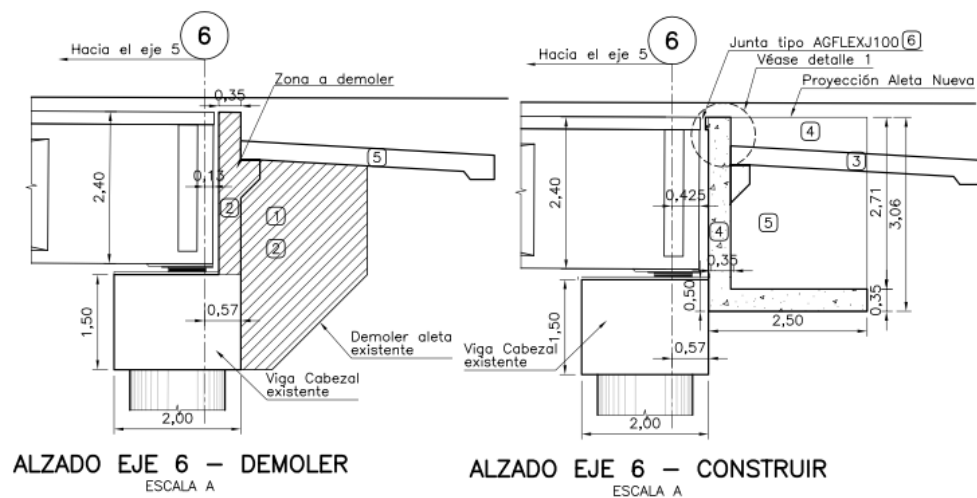
El nivel de la rasante también se vio afectado debido a los asentamientos presentados en estos ejes.

5.3.3. REPARACION DE LA ESTRUCTURA

Para la reparación de la estructura se debió plantear la siguiente secuencia:

- Demolición del espaldar y aletas y losa de aproximación en el estribo del eje 6 y retiro de material de relleno para poder dar espacio a las vigas de volver a su posición original. Las vigas debían retroceder aproximadamente 30 cm para liberar la junta del eje 4.

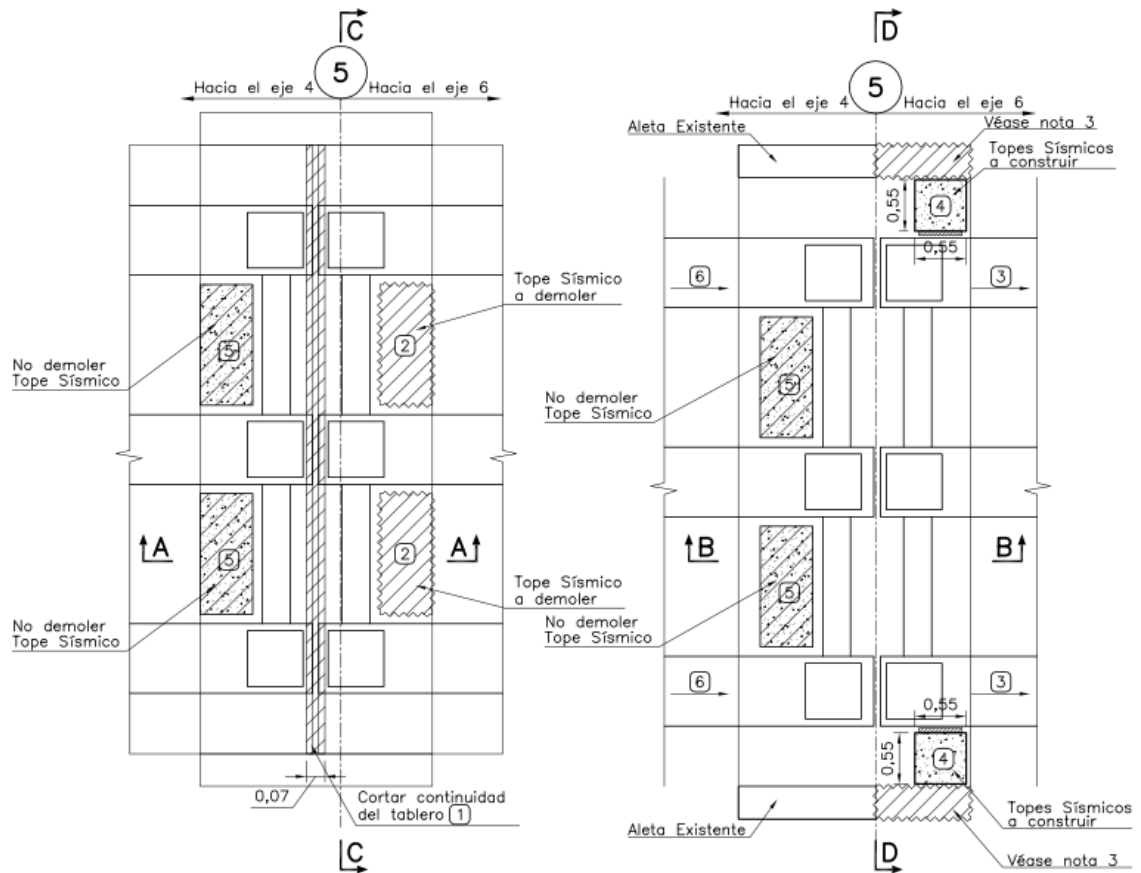
Imagen 79. Demolición espaldar estribo eje 6 y posterior reconstrucción.



Fuente: Informe para la Intervención del Puente Geo Von Lengerke. Ingetec-Consorcio Supervision P.H. Sogamoso

- El siguiente paso fue realizar demoliciones de los topes sísmicos en los ejes 4 y 6 para poder liberar las vigas postensadas y así realizar el movimiento de las vigas postensadas. También se debió cortar la continuidad de la losa en el eje 5 y crear una nueva junta en este punto.

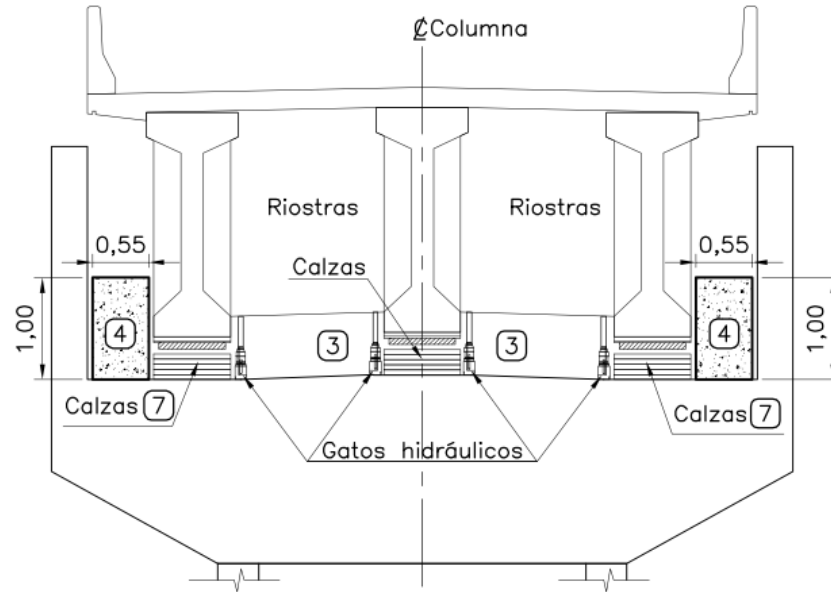
Imagen 80. Demolición de Topes sísmicos en eje 5



Fuente: Informe para la Intervención del Puente Geo Von Lengerke, Intgetec-Consorcio Supervisión P.H. Sogamoso

- Terminada todas las demoliciones se realizó en gateo de las vigas (levantamiento con gatos hidráulicos) para poder colocar rodillos en los patines inferiores de las vigas y así poder desplazarlas a su posición original.

Imagen 81. Colocación de Gatos Hidráulicos para levantamiento de las vigas



Fuente: Informe para la Intervención del Puente Geo Von Lengerke, Intgetec-Consorcio Supervisión P.H. Sogamoso

Imagen 82. Gateo de las vigas postensadas con sistema de control central de cargas



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S.

Imagen 83. Movimiento horizontal de las vigas para llevarlas a su posición original



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S.

- Después de llevar las vigas a su posición original se debió colocar recalces en platinas de acero para recuperar los asentamientos presentados en las cimentaciones de los ejes 4,5 y 6, debiendo recalzar 14 cm en eje 4 y 28 cm en eje 6 para así recuperar la linealidad de la rasante.

Imagen 84. Recalce de las vigas postensadas con platinas metálicas en estribo eje 6



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S.

- Por último se realizó la reconstrucción de las estructuras demolidas como el espaldar del estribo en eje 6, reconstrucción de topes sísmicos e instalación de juntas tipo freyssinet y VSL en los eje 4, 5 y 6.

Imagen 85. Reconstrucción de Espaldar y aletas en estribo eje 6



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S.

Imagen 86. Instalación de Juntas tipo freyssinet y VSL en eje 4,5 y 6



Fuente: Cortesía Puentes y Torones S.A.S.

6. CONCLUSIONES

Se observaron las principales patologías que afectan a puentes en viga cajón construidos por voladizos sucesivos las cuales pueden derivarse de muchos factores que van desde diseños y construcciones deficientes, hasta factores que se presentan durante la vida útil de la estructura como la acción de agentes ambientales, cambios climáticos e incrementos en las cargas de uso no previstas en su diseño, lo cual puede reducir drásticamente su vida útil.

Las patologías más frecuentes en esta tipología de puentes están relacionadas con fallas de cortante en la viga cajón, fallas en subestructura (socavaciones y desplazamientos de la cimentación que transmiten sobreesfuerzos a la superestructura), recubrimientos deficientes del acero, oxidación de acero pasivo y activo y deflexiones excesivas en centros de luz, entre otros.

Todas estas patologías y sus técnicas de reparación y rehabilitación son de gran importancia en el medio internacional y notablemente en Colombia en donde este tipo de puentes han tenido un gran auge en las 2 últimas décadas, debido a que se acopla de manera eficiente a nuestra geografía altamente accidentada y más aun con el ambicioso proyecto de la red vial que está poniendo en marcha nuestro Gobierno, con las vías 4G.

Esto muestra la importancia de realizar un adecuado seguimiento a estos puentes desde etapas de diseño y construcción, y durante su vida de servicio, los cuales nos aporten información suficiente a la hora de tomar medidas para una adecuada reparación y rehabilitación en estas estructuras.

También es importante para la Ingeniería Colombiana tener referencia de proyectos que ya han sido intervenidos en este País como el Puente Pumarejo, Puente Yondo, Puente de Cajamarca, donde se pueden observar técnicas de reforzamiento con materiales compuestos como fibras de carbono (CFRP) y adición de acero de preesfuerzo externo a las superestructuras como solución a las patologías presentadas.

REFERENCIAS

-
- ¹ Miranda Dos Santos, Daniel. Comportamiento estructural de pontes com protenssao no extradorso. Sao Paulo. 2006. 132h. Tesis de Maestría (Magiser en Ingeniería Civil). <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-08032007>>
- ² MONDORF. Puentes en Hormigón. 2007. Cap. 8. Universidad de Chile. Seminario: Diseño y Construcción de Puentes. <http://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/C162Q/materiales_alumnos/>
- ³ RIPPER E. (1996), Como evitar erros na construção. How to avoid mistakes in construction 3rd ed. São Paulo: Pini. (In portuguese)-170442/>
- ⁴ Maldonado N., Michelini R., Pizarro N.F. and Tornello M.E. (2009), On pathology and rehabilitation teaching of concrete structures: A case study. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II. Alexander et al (eds). Taylor & Francis Group. London, 6 p.
- ⁵ Ripper T., Souza V. (1998), Pathology, rehabilitation and strengthening of concrete structures, 1st ed., Pini, São Paulo, Brazil. (In portuguese).
- ⁶ CONVENIO INTER-ADMINISTRATIVO 0587-03. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.-INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Estudio del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. 2006.
- ⁷ Matute Luis, Pulido Ignacio y otros. Las patologías más frecuentes detectadas en las inspecciones de puentes de la red de carreteras del estado. IDEAM. 2012. España.
- ⁸ Raina V. (2003), Concrete bridges inspection, repair, strengthening, testing and load capacity evaluation, Mc Graw -Hill publishing.
- ⁹ Helene P. and Pereira F. (2007), Rehabilitacion y mantenimiento de estructuras de concreto. São Paulo: Cargraphics. 598 p.
- ¹⁰ RED REHABILITAR, Helene, Paulo. PEREIRA, Fernanda. Manual de Rehabilitación de estructuras de hormigón. Reparación, refuerzo y protección. 2003.
- ¹¹ Pfeil W. and Pfeil M. (2009), Steet structures: sizing and practice, 8th ed. Rio de Janeiro: LTC, . (In portuguese). [Links] Pfeil W. (1983), Bridges: Practical Course. Rio de Janeiro: Campus. (In portuguese).
- ¹² SÁNCHEZ DE GUZMAN, Diego. Durabilidad y patología del concreto. Colección especializada de concreto. Convenio SENA-Instituto del concreto (Asocreto). 2002,
- ¹³ J-P. Sellin, J-F. Barthélémy, G. Bondonet, B. Cauvin, J-M. Torrenti. DEFORMATIONS DIFFEREES DE STRUCTURES EN BETON: LE CAS DES PONTS DE SAVINES ET DE CHEVIRE.
- ¹⁴ Impermeabilización y drenaje de tableros de puentes. En línea: <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Documentaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica/Impermeab%20Drenaje%20Tableros%20Puentes.pdf>

¹⁵ Rehabilitación de estructuras existentes. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. España.

¹⁶ INFORME VIADUCTOS GARCIA CADENA – LA FLORA, SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA ING. SILVIA INES PEREZ LESMES

¹⁷ Estudio teórico-experimental sobre la reparación y refuerzo de puentes de dovelas con fibras de carbono. Capítulo 2: Estado del Conocimiento. En línea: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6153/06CAPITULO2.pdf?sequence=6>

¹⁸ Patología de la edificación, Estructuras de hormigón, Reparación. En línea: https://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa_de_la_edificaci%C3%B3n/Estructuras_de_hormig%C3%B3n/Reparaci%C3%B3n/Tipos_de_refuerzo_seg%C3%BA_n_su_puesta_en_carga

¹⁹ DE LA CRUZ, Claudia Jenny. Resistencia a la flexión y adherencia en vigas de hormigón armado con barras de polímeros reforzados con fibras FRP. Universidad Nacional. 2004.

²⁰ MAPEI. FRP y FRG System: los sistemas para el refuerzo y la adecuación estática de las estructuras. 2009. En línea: <http://www.mapei.com/public/ES/linedocument/frpyfrgsystem.pdf>

²¹ SWITZERLAND. Rehabilitación estructural. Reparación, refuerzo y protección de estructuras.

²² INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO-ICPC. Construcción de Puentes en Concreto, con el sistema de Voladizos Sucesivos: Realizaciones en Colombia. En: El cemento y el concreto, Banco de Documentos. Edición 106 (mayo 2006).

²³ CONSTRUADATA. EDICION 159. En línea: https://issuu.com/construdata/docs/construdata_159_con_portada

²⁴ Revista Santander. El puente que unió a Yondó con Barrancabermeja. Edición 2. 2007

²⁵ Restrepo, Jorge Enrique. <http://blog.360gradosenconcreto.com/>. 31 Julio 2013. 15 01 2016 < <http://blog.360gradosenconcreto.com/puentes-en-concreto-por-voladizos-sucesivos-via-buga-buenaventura/>>.

²⁶ Puente Zambrano – Plato: estudio de impacto ambiental, Consorcio Puente Plato

²⁷ RENDON, Jorge. Puente Pumarejo, Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. 2015.

²⁸ Muñoz, Edgar y Gómez, David. Analisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 28 No1, Abril de 2013

²⁹ Hoja técnica de producto, SikaColor 555W. Versión 05/2015. En línea: <https://col.sika.com/es/rehabilitacion-y-reforzamiento/rehabilitar-reforzar/02a002/02a002sa03.html>

³⁰ INFORME FINAL DE ESTUDIOS Y DISEÑOS ESTRUCTURACIÓN CORREDOR VIAL BUCARAMANGA –BARRANCABERMEJA – YONDÓ. Agencia nacional de infraestructura-union temporal estructuracion APP Vial

³¹ Informe para la Intervención del Puente Geo Von Lengerke, Intgetec- Consorcio Supervisión P.H. Sogamoso

BIBLIOGRAFIA

Agencia Nacional de Infraestructura. INFORME FINAL DE ESTUDIOS Y DISEÑOS ESTRUCTURACIÓN CORREDOR VIAL BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA – YONDÓ. Agencia nacional de infraestructura-union temporal estructuracion APP Vial

CONSTRUDATA. EDICION 159. En línea:
https://issuu.com/construdata/docs/construdata_159_con_portada
Revista Santander. El puente que unió a Yondó con Barrancabermeja. Edición 2. 2007

CONVENIO INTER-ADMINISTRATIVO 0587-03. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.-INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Estudio del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. 2006.

DE LA CRUZ, Claudia Jenny. Resistencia a la flexion y adherencia en vigas de hormigón armado con barras de polímeros reforzados con fibras FRP. Universidad Nacional. 2004.

HELENE P. and Pereira F. (2007), Rehabilitacion y mantenimiento de estructuras de concreto. São Paulo: Cargraphics. 598 p.

INGETEC- Consorcio Supervisión P.H. Informe para la Intervención del Puente Geo Von Lengerke, Sogamoso

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO-ICPC. Construcción de Puentes en Concreto, con el sistema de Voladizos Sucesivos: Realizaciones en Colombia. En: El cemento y el concreto, Banco de Documentos. Edición 106 (mayo 2006).

J-P. Sellin, J-F. Barthélémy, G. Bondonet, B. Cauvin, J-M. Torrenti. DEFORMATIONS DIFFEREES DE STRUCTURES EN BETON: LE CAS DES PONTS DE SAVINES ET DE CHEVIRE.

Maldonado N., Michelini R., Pizarro N.F. and Tornello M.E. (2009), On pathology and rehabilitation teaching of concrete structures: A case study. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II. Alexander et al (eds). Taylor & Francis Group. London, 6 p.

MAPEI. FRP y FRG System: los sistemas para el refuerzo y la adecuación estática de las estructuras. 2009. En línea: <http://www.mapei.com/public/ES/linedocument/frpyfrgsystem.pdf>

Matute Luis, Pulido Ignacio y otros. Las patologías más frecuentes detectadas en las inspecciones de puentes de la red de carreteras del estado. IDEAM. 2012. España.

Miranda Dos Santos, Daniel. Comportamiento estrutural de pontes com protenssao no extradorso. Sao Paulo. 2006. 132h. Tesis de Maestría (Magiser en Ingeniería Civil). <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-08032007>>

Mondorf. Puentes en Hormigón. 2007. Cap. 8. Universidad de Chile. Seminario: Diseño y Construcción de Puentes. <http://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/C162Q/materiales_alumnos/>

Muñoz, Edgar y Gómez, David. Analisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 28 No1, Abril de 2013

Pérez, Silvia. INFORME VIADUCTOS GARCIA CADENA – LA FLORA, SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA.

Pfeil W. and Pfeil M. (2009), Steet structures: sizing and practice, 8th ed. Rio de Janeiro: LTC, . (In portuguese). [Links] Pfeil W. (1983), Bridges: Practical Course. Rio de Janeiro: Campus. (In portuguese).

Puente Zambrano – Plato: estudio de impacto ambiental, Consorcio Puente Plato RENDON, Jorge. Puente Pumarejo, Rehabilitación de una de las Maravillas del Concreto en Colombia. 2015.

Raina V. (2003), Concrete bridges inspection, repair, strengthening, testing and load capacity evaluation, Mc Graw -Hill publishing.

RED REHABILITAR, Helene, Paulo. PEREIRA, Fernanda. Manual de Rehabilitación de estructuras de hormigón. Reparación, refuerzo y protección. 2003.

Rehabilitación de estructuras existentes. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. España.

Restrepo, Jorge Enrique. <http://blog.360gradosenconcreto.com/>. 31 Julio 2013. 15 01 2016 < <http://blog.360gradosenconcreto.com/puentes-en-concreto-por-voladizos-sucesivos-via-buga-buenaventura/>>.

RIPPER E. (1996), Como evitar erros na construção. How to avoid mistakes in construction 3rd ed. São Paulo: Pini. (In portuguese)-170442/>

Ripper T., Souza V. (1998), Pathology, rehabilitation and strengthening of concrete structures, 1st ed., Pini, São Paulo, Brazil. (In portuguese).

SÁNCHEZ DE GUZMAN, Diego. Durabilidad y patología del concreto. Colección especializada de concreto. Convenio SENA-Instituto del concreto (Asocreto). 2002,

J-P. Sellin, J-F. Barthélémy, G. Bondonet, B. Cauvin, J-M. Torrenti.

SWITZERLAND. Rehabilitación estructural. Reparación, refuerzo y protección de estructuras.