

Proyecto de refuerzo del puente sobre el arroyo Paranay-Guazú – Estudio de caso

Esteban Zecchin¹, Osvaldo R. Marchesini², Juan C. Traversaro³ y Juan J. Clariá⁴

¹*Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.*

²*MyT Consultora SRL. Socio Gerente. Córdoba, Argentina.*

³*MyT Consultora SRL. Socio Gerente. Córdoba, Argentina.*

⁴*Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.*

Fecha de recepción del manuscrito: 19/05/2015

Fecha de aceptación del manuscrito: 20/07/2015

Fecha de publicación: 15/09/2015

Resumen—El presente Estudio de Caso corresponde al proyecto de refuerzo de un puente sobre el Arroyo Paranay-Guazú, ubicado en el kilómetro 1502,65 de la Ruta Nacional N°12, en la Provincia de Misiones, Argentina. Se trata de un puente carretero que vincula los departamentos de Montecarlo y Libertador General San Martín. Las ciudades más importantes que comunica son Posadas y El Dorado. El proyecto original del puente data del año 1961. Tiene una longitud total de 204 m, formado por nueve vanos de 20 m y dos vanos (correspondientes a los extremos sobre ambas márgenes del cauce) de 12 m cada uno. El paso del tiempo ha generado graves deterioros en la estructura del puente, haciendo necesaria su intervención para rehabilitarlo y reforzarlo para llevarlo a la categoría A-30 de la Dirección Nacional de Vialidad. El proyecto de refuerzo consiste en la búsqueda de una alternativa que minimice las intervenciones necesarias sobre la estructura existente, con el condicionante de mantener en todo momento media calzada habilitada al tránsito.

Palabras clave: puente, refuerzo, recategorización.

Abstract—This case study is for the Reinforcement Project of a bridge over the Arroyo Paranay-Guazú, located at kilometer 1502.65 of National Route No. 12, in the Province of Misiones, Argentina. It is a highway bridge linking the departments of Montecarlo and Libertador General San Martín. The major cities communicated are Posadas and El Dorado. The original bridge project dates from 1961. It has a total length of 204 m, consisting of nine spans of 20 m long and two 12-meter-long spans (corresponding to the extremes on both sides of the channel). The passage of time has caused serious damage to the bridge structure, needing an intervention to rehabilitate and strengthen it to carry Category A-30 according to the regulations of the Dirección Nacional de Vialidad. The reinforcement project consists on finding an alternative to minimize the interventions needed on the existing structure, with the constraint of maintaining at anytime the road traffic enabled in at least one flow direction.

Keywords— bridge, reinforcement, recategorization

INTRODUCCIÓN

El puente sobre el Arroyo Paranay-Guazú está ubicado en el kilómetro 1502,65 de la Ruta Nacional N°12, en la Provincia de Misiones. Se trata de un puente carretero que vincula los departamentos de Montecarlo y Libertador General San Martín. Las ciudades más importantes que comunica son Posadas y El Dorado. El proyecto original data del año 1961.

El puente tiene una longitud total de 204 m, formado por nueve vanos de 20 m y dos vanos (correspondientes a los

extremos sobre ambas márgenes del cauce) de 12 m cada uno. La calzada tiene 8,40 m de ancho, teniendo un carril de circulación por sentido, y dos veredas peatonales de 0,65 m de ancho, totalizando un ancho de 9,70 m. En la Fig. 1 se observa una vista general de puente.

La superestructura consiste en una losa de hormigón armado que descarga sobre nervios transversales, también de hormigón armado, ubicados cada 4 m. La losa es soportada por cuatro vigas metálicas reticuladas, sobre cuyos nudos se apoyan los nervios transversales de hormigón armado, como se aprecia en la Fig. 2.

Dirección de contacto:

Esteban Zecchin, Obispo Salguero 638 Piso 8 Departamento "A", X5001 CGA. Tel: 0351-158046195, esteban.zecchin@gmail.com



Fig. 1. Vista lateral del puente.

Las vigas están constituidas por barras de secciones armadas del Grupo V, de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 301, con perfiles de la Serie UPN vinculados con presillas.

Las vigas longitudinales apoyan cada 20 m sobre pilas que consisten en pórticos de hormigón armado de altura variable en función de la profundidad del cauce. Las columnas son circulares, de 0,90 m de diámetro, unidas con una viga de sección rectangular de 1,50 m de altura total y 0,90 m de ancho.



Fig. 2. Vista lateral de las vigas reticuladas, nervios transversales, losa y barandas laterales.

El proyecto de refuerzo fue encargado por la Concesionaria Caminos del Paraná S.A. y el OCCOVI (Órgano de Control de Concesiones Viales). La realización del mismo tuvo una serie de condicionantes originados por la falta de información del proyecto original, entre los que se puede mencionar: no hay información sobre el tipo de hormigón ni la cuantía dispuesta en las pilas del puente, como así tampoco del tipo de acero utilizado (se asumió que es acero liso de tipo AL220 por lo que se observa en los planos de los nervios de hormigón armado). Tampoco se tenían datos de las dimensiones y tipo de las fundaciones del puente; sólo se contó con un relevamiento batimétrico que muestra que aproximadamente un metro y medio por debajo del lecho del río existe un afloramiento de basalto, a partir de lo que se supuso que el puente se encuentra fundado superficialmente sobre esta roca. No se realizaron ensayos metalográficos para determinar el tipo de acero de los perfiles y chapas de nudo, por lo que se asumió que se trata de un acero de calidad F-24.

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA

Infraestructura

Los estribos, al igual que las pilas, presentan problemas menores de recubrimiento de armaduras. Como se observa en la Fig. 3, la pila del eje III presenta una zona con problemas de colado del hormigón en la vinculación de la columna aguas abajo con la riostra.



Fig. 3. Problemas de colado en vinculación entre columna y riostra de pila del Eje III.

Superestructura

La losa de la calzada se encuentra muy deteriorada. Se trata de una losa continua que apoya sobre una estructura metálica elástica como son las vigas. El aumento de las cargas, de las frecuencias de paso y de las velocidades de circulación vehicular, han hecho que la losa haya llegado al final de su vida útil.

El mecanismo de deterioro se origina en la concepción de la vinculación de la losa con la estructura metálica. Esta unión, de escasa robustez, funcionó bien durante varias décadas, debido a las bajas cargas y menores frecuencias de paso de las mismas. Al modificarse estos parámetros, comenzó el deterioro de los nervios en la zona del apoyo sobre la estructura metálica, con lo cual dejó de existir un apoyo franco de la losa sobre la estructura. Esto genera continuos desplazamientos verticales de estos apoyos, que debido a las velocidades a las que transitan las cargas, provocan mayor impacto entre el nervio dañado y la viga, agravando el deterioro.

Con mucha frecuencia el puente se ve solicitado por el paso de camiones que, circulando en sentido opuesto y en forma simultánea, producen una serie de descensos diferenciales de los apoyos de los nervios afectados. Esta situación genera en la losa esfuerzos para los cuales no fue concebida, motivo por el cual la misma se va triturando, como se aprecia en la Fig. 4.

Con el objeto de detener el proceso de deterioro, concesionarios anteriores modificaron algunos de los apoyos de la losa con las vigas metálicas, agregando a cada lado del nervio un cajón metálico soldado a la estructura y sobre este un apoyo de neopreno, sobre el cual descarga la losa, como se observa en la Fig. 5.



Fig. 4. Nervio deteriorado por martilleo sobre viga metálica



Fig. 5. Tacos metálicos provisionarios

Las vigas metálicas del puente se encuentran, en general, en buen estado de conservación. Sólo tienen problemas de corrosión local en algunos nudos.

Conclusiones y Recomendaciones del Estado Actual

1. La infraestructura se encuentra en buen estado.
2. Las vigas metálicas que conforman la estructura principal del tablero se encuentran en buen estado, salvo lugares puntuales.
3. La losa de calzada ha llegado al final de su vida útil.

Por todo esto, se recomendó:

1. Realizar tareas de mantenimiento en la infraestructura consistentes en la restitución de los recubrimientos donde hiciera falta, y reparación de las zonas con defectos de colado del hormigón.

2. Reparar y reforzar las vigas metálicas, para extenderles su vida útil.

3. Reemplazar la losa superior del tablero, con un nuevo diseño que modifique el esquema estático y mejore la vinculación de la losa con la estructura metálica. En este punto hay que destacar la necesidad de dar urgente solución al problema, ya que el deterioro de la losa del tablero se acelera día a día.

4. El punto anterior lleva aparejado el reemplazo total de las losas de aproximación y eliminación de las losas de transición, para disminuir la cantidad de juntas.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE EN ESTADO ACTUAL

Para la modelación de la estructura actual se realizó un análisis de cargas con el objetivo de determinar las sollicitaciones sobre los miembros del reticulado que soporta la losa.

Se siguieron las disposiciones de las “Bases para el cálculo de puentes de hormigón armado” de la Dirección Nacional de Vialidad en cuanto a las sobrecargas de uso que se utilizaron en las hipótesis de cálculo, para un puente de Categoría A-30.

Para la estructura actual se utilizó un modelo bidimensional, ya que sólo interesa conocer los esfuerzos en las barras del reticulado.

Resultados obtenidos

Del modelo estructural utilizado se obtuvo la resistencia requerida de cada uno de los elementos componentes de las vigas longitudinales y se la cotejó con la Capacidad Resistente de cada uno de ellos, de acuerdo al Reglamento Argentino CIRSOC 301-2005.

En la Tabla 1 se sintetizan los resultados obtenidos como relación entre las Resistencias Requeridas en Estado Límite Último y la Capacidad Resistente de las barras:

TABLA 1. Relación entre Resistencia Requerida y Capacidad Resistente de las barras de las vigas reticuladas

| Barra | A compresión | A Tracción |
|-----------------------|--------------|------------|
| Cordón Superior | 127 % | 52 % |
| Cordón Superior Apoyo | 35 % | 92 % |
| Cordón Inferior | 132 % | 139 % |
| Diagonales Apoyos | 168 % | 0 % |
| Diagonales Vano | 154 % | 122 % |

PROPUESTAS PRELIMINARES

A nivel de anteproyecto, se propuso una primer alternativa que consistía en reemplazar la losa del tablero por una nueva, con nervios longitudinales apoyados en forma continua sobre las vigas reticuladas. Este tablero se fabricaría sección a sección en una de las márgenes del río y se tiraría por medio de gatos hidráulicos hasta la margen opuesta.

Esta alternativa fue descartada por dos motivos: en primer lugar, los esfuerzos inducidos por la fricción sobre las vigas metálicas le habría producido a las mismas sollicitaciones para las cuales no fueron diseñadas; en segunda instancia, el comitente solicitó que en todo momento fuese factible mantener la circulación vehicular sobre el puente, al menos con media calzada. Esta situación obligó a desarrollar la propuesta que se describe a continuación.

REFUERZO DEL CORDÓN SUPERIOR

La solución propuesta consiste en colocar un refuerzo metálico sobre el cordón superior de las vigas reticuladas que incremente la sección de compresión de dicho cordón, junto con la colaboración de la losa de hormigón armado, con lo que logran disminuirse los esfuerzos de tracción en el cordón inferior. Para el dimensionado de este refuerzo se partió de la hipótesis de que esta nueva sección, conformada por el cordón superior existente, el refuerzo metálico y la losa de hormigón armado, tuviese la capacidad de resistir, por sí sola, los esfuerzos producidos por las cargas de peso propio y sobrecargas de uso.

Para minimizar el incremento del peso propio del puente con el refuerzo, se decidió utilizar perfiles de acero de la Serie Americana W. Se optó por utilizar dos perfiles W410x140x46,1 con el objetivo de obtener una mayor rigidez al utilizar dos perfiles. En la Fig. 6 se ilustra el refuerzo propuesto.

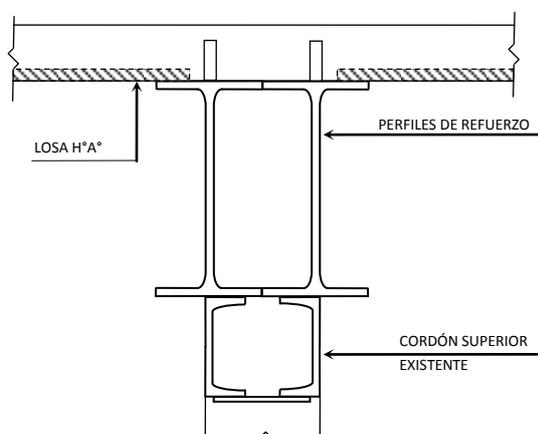


Fig. 6.Detalle de refuerzo del Cordón Superior con perfiles W410x140x46,1

Los perfiles de refuerzo se colocan soldados entre sí en tramos de 12 m, correspondientes a la longitud comercial de los perfiles. Los perfiles se unen entre sí por soldaduras a tope. En las alas superiores de los perfiles se colocan los pasadores de corte necesarios para lograr la transferencia del esfuerzo cortante entre los perfiles de refuerzo y la losa, logrando que esta última colabore con la sección resistente.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE CON EL REFUERZO PROPUESTO

Para el cálculo de los elementos estructurales de la propuesta de refuerzo se modeló la estructura en tres dimensiones, tal como se aprecia en la Fig. 7.

En este nuevo modelo se aplicaron todas las cargas descriptas para el modelo bidimensional, con la adición del peso propio del refuerzo metálico. Este modelo en 3D permitió obtener los esfuerzos en la nueva losa de hormigón, en la viga de refuerzo y en las barras del reticulado.

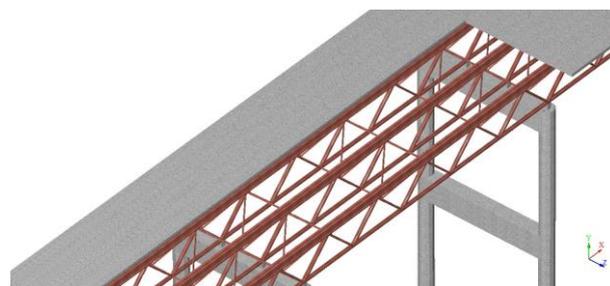


Fig. 7.Modelo 3-D del puente. Pilas, Vigas reticuladas y Losa de H°A°.

Losa de Hormigón Armado

Observando el modelo de elementos finitos, se encuentra que la losa presenta momentos flectores del mismo orden de magnitud en ambas direcciones. Esto se debe a que la losa está apoyada en una viga reticulada, la cual tiene una gran diferencia de rigidez entre los nudos y el tramo del cordón superior lo que determina que la losa trabaje prácticamente en dos direcciones, con una luz de flexión de 4,00 m entre nudos del reticulado y de 2,80 m en dirección perpendicular a las vigas principales. De esta forma, los esfuerzos solicitantes son aproximadamente iguales en ambas direcciones.

Las armaduras de la losa se calcularon según lo establecido por el Reglamento Argentino CIRSOC 201/2005.

Prelosas

Para facilitar las tareas constructivas se diseñaron prelosas las cuales contienen toda la armadura transversal inferior de la losa. Se utilizaron prelosas de 5 cm de espesor con barras de acero de 500 MPa de tensión de fluencia para los trilogics y Acero ADN 420 para la armadura transversal. Las mismas fueron verificadas para las cargas solicitantes durante las tareas de construcción.

Pasadores de corte

Para lograr el correcto funcionamiento del refuerzo propuesto es necesario proveer una adecuada transferencia del esfuerzo cortante desde la losa a los perfiles de refuerzo W410x140x46,1.

Se proponen dos alternativas:

- Usar barras de acero liso AL220 de 25 mm de diámetro (como las barras usadas como pasadores en pavimentos rígidos) soldadas a los perfiles W410x140x46,1.
- Utilizar pernos Nelson S3L de 25 mm de diámetro (o equivalente).

De acuerdo a los esfuerzos de corte que solicitan la estructura se obtiene:

1. En los 5 m adyacentes a las pilas se coloca un pasador sobre cada perfil, separados 20 cm.
2. En los 10 m centrales de cada vano se coloca un pasador sobre cada perfil, separados 40 cm.

Estructura metálica

En primer lugar se realizó el análisis estructural de las barras del reticulado con la incorporación del refuerzo metálico. Así se obtuvieron las resistencias requeridas de las barras y se las comparó con las capacidades resistentes, de acuerdo con las especificaciones del Reglamento Argentino CIRSOC 301-2005.

A partir de los resultados obtenidos se corroboró que el refuerzo es efectivo y que sólo es necesario reforzar las diagonales de los apoyos. Esto es lógico, ya que estas barras transmiten todas las cargas actuantes sobre el tablero del puente a las pilas y por lo tanto no se descargan por el refuerzo colocado del cordón superior.

El refuerzo de las Diagonales de Apoyo (Fig. 8) se proyectó constituido por dos chapas de 1/2" de espesor que se vinculan rígidamente a la barra armada existente mediante cordones de soldadura y que, mediante la utilización de otras chapas de menor espesor, conforman un cajón alrededor de la barra existente.

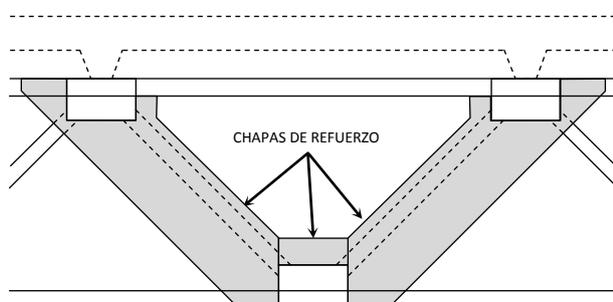


Fig. 8. Detalle de Refuerzo de Diagonales de Apoyos.

Estas placas se verifican como columnas en compresión para la carga de 128,8 tn obtenida del análisis de los estados últimos, asumiendo como hipótesis de cálculo que las diagonales existentes únicamente aporta inercia pero no sección resistente.

Nuevos apoyos sobre pilas

Con el objetivo de aumentar la capacidad de transmisión de carga de los apoyos sin necesidad de recrecer los capiteles de las pilas se propuso colocar un cilindro metálico de 0,90 m de diámetro, cortado longitudinalmente en dos partes las cuales se vinculan entre sí por medio de bulones de 3/4" de diámetro. Los cilindros se fijan a la viga de la pila con pernos Fisher (o similar) de 3/4" de diámetro (Fig. 9). Posteriormente, el espacio que queda entre el apoyo existente y este cilindro se llena con hormigón H-30 de alta fluidez o mortero autocompactante, de manera que no se produzcan deficiencias de llenado y no queden espacios vacíos.

Una vez fraguado el hormigón, se colocan, encima de estos cilindros, unos dispositivos formados por cuñas de acero que se accionan por medio de varillas roscaadas que se ajustan hasta que los mismos entren en carga, aliviando los apoyos existentes.

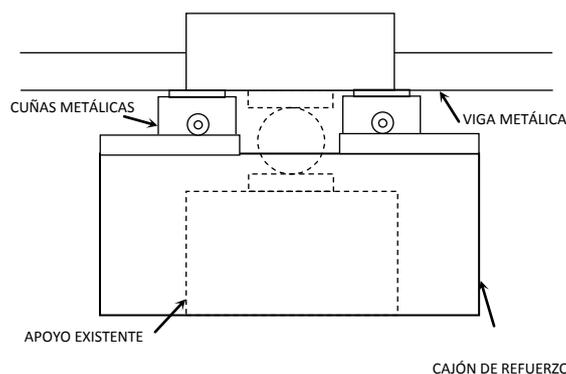


Fig. 9. Detalle de refuerzo de apoyos.

Adecuación de los Estribos

Se diseñó una adecuación para los estribos del puente. Esta consiste en ejecutar cuatro dados de hormigón armado anclados con químicos al muro de pantalla del estribo, sobre la viga cargadero. Sobre estos dados se colocan apoyos de neopreno zunchado que luego recibirán a los perfiles de refuerzo.

Juntas de Dilatación

En ambos ingresos al puente debe colocarse una junta de dilatación que absorba las deformaciones que sufrirá el tablero por los cambios de temperatura experimentados. El tipo de junta elegido corresponde a una junta tipo peine, el cual garantiza una sensación muy confortable al conductor del vehículo que la atraviesa.

Método Constructivo

Se propuso el método constructivo a utilizar, el cual cumple con el requerimiento de mantener la circulación en al menos media calzada del puente. El método puede sintetizarse en las siguientes etapas:

1. Previo a todas las tareas de refuerzo, debe realizarse una limpieza de la estructura metálica.
2. Revisión detallada de cada nudo de la estructura, llevada a cabo por personal calificado capaz de detectar aquellos nudos que por oxidación u otro defecto, tengan disminuida su capacidad.
3. Refuerzo de los nudos deficientes según la revisión anterior.
4. Refuerzo de las diagonales de los apoyos.
5. Colocación de cajones refuerzos en apoyos y las correspondientes cuñas. Posteriormente, accionar las cuñas para hacer entrar en carga los apoyos.
6. Colocación de perfiles W310x38,7 como rigidización del paño central de la losa existente debajo de cada nervio de ésta.
7. Demolición de media losa de aproximación, media losa de transición, barandas y media calzada en el acceso Sur del puente.
8. Adaptación del estribo para recibir la viga de refuerzo del cordón superior.
9. Ubicación de la bomba de hormigón y acopio de prelasas en el otro extremo del puente.

10. Aserrado y eliminación de barandas. Aserrado y retiro de media losa existente entre nervios transversales. Demolición de apoyos de nervios sobre vigas metálicas.

11. Una vez que se hayan demolido tres módulos de la losa (cada módulo corresponde a la distancia entre nudos del reticulado, es decir, 4 m), se procede a la colocación de los perfiles W410x140x46,1 de refuerzo, con una longitud de 12 metros, vinculándolos con el cordón superior de la viga metálica por filetes de soldadura intermitentes.

12. Montaje de prelosas.

13. Armado y hormigonado de la losa.

14. Se continúa con esta secuencia hasta completar la reparación de media calzada del puente.

15. Se procede a la reparación de la media calzada restante, siguiendo un procedimiento igual al ya descrito.

16. Ejecución de la vinculación entre las losas.

17. Colocación de juntas tipo peine y ejecución de losas de aproximación en los accesos del puente.

REFERENCIAS

- [1] CIRSOC 201 (1984). “Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado”. INTI.
- [2] CIRSOC 201 (2002). “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón”. INTI.
- [3] CIRSOC 301 (2005). “Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios”. INTI.
- [4] Dirección Nacional de Vialidad (1986). “Bases para el cálculo de puentes de hormigón armado”.

CONCLUSIONES

- El puente analizado constituye una obra de conexión de gran relevancia, comunicando las ciudades de Posadas y El Dorado. La importancia de esta vía de comunicación, justifica la necesidad de reparación de la estructura. A su vez, esto implica condicionantes al proyecto, como por ejemplo, la necesidad de tener habilitada media calzada durante las tareas de reparación por la inexistencia de una vía de comunicación alternativa.

- La búsqueda de la alternativa más conveniente para el refuerzo de la estructura implicó un proceso de propuestas y mejoras sucesivas, adaptándose a los condicionantes propios del proyecto y buscando siempre la mayor simplicidad posible en la materialización de las tareas.

- La exploración de una solución apropiada para el desafío de refuerzo encarado, implicó por un lado, la verificación del funcionamiento estructural de cada pieza del puente en forma aislada así como la de todas en conjunto y como una unidad estructural, y por otro lado, garantizar que la solución propuesta pueda ser ejecutada y materializada con las técnicas constructivas y equipos disponibles en nuestro medio y manteniendo la circulación en al menos media calzada del puente.

- El proyecto de refuerzo realizado permite la recategorización del puente, de A-20 a A-30, sin modificar sustancialmente el peso propio de la estructura. Además, presenta la ventaja de que no requiere importantes intervenciones sobre la estructura existente, conservando gran parte de ella sin modificaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Dirección Nacional de Vialidad, al Órgano de Control de las Concesiones Viales (OCCOVI) y la Concesionaria Caminos del Paraná S.A. por facilitar la publicación de este artículo.