



Tópico 4, Nº 36

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE PUENTE EN ARCO SOBRE FERROCARRIL EN SAN JOSE, PROVINCIA DE ENTRE RÍOS.

Schierloh M. I. (1), Souchetti R.F.(1)

(1) *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Tel/Fax: (03442) 425-541 / 423-803, Ing. Pereira 676, Concepción del Uruguay, E3264BTD - Entre Ríos - Argentina*
schierlm@frcu.utn.edu.ar

RESUMEN

La determinación de la vida útil y conservación de los puentes, por su funcionalidad y valor patrimonial como construcción histórica es un tema de gran interés dentro de las administraciones gestoras de estas estructuras.

El desarrollo de una metodología de análisis específica para estas estructuras tiene su aplicación inmediata en la evaluación del estado actual de puentes que llevan en servicio más de 100 años. Permite además, y al mismo tiempo, facilitar el proyecto de las labores de mantenimiento a partir de la comprensión de los mecanismos durables que tienen lugar en estas estructuras y materiales, con el fin de preservar su funcionalidad y en salvaguarda, en la medida de lo posible, de los caracteres que las identifican como construcciones históricas de una etapa de la ingeniería civil.

Esta metodología se define a partir de la determinación "in situ" de morfologías de daño y del estudio en campo y laboratorio de las variables que condicionan su desarrollo y evolución en un puente arco de fábrica de la red ferroviaria, localizado en calle Dr. Bastián esquina Entre Ríos, en el acceso a la ciudad de San José, construido en 1915. Con la particularidad de presentar daños durables, haber sufrido intervenciones modificaciones menores y estar hoy en día en uso.

De los datos obtenidos se han definido las tipologías de procesos de deterioro mediante el estudio cualitativo de cada uno de ellos. También, se ha contemplado el estudio semicuantitativo de las variables que inciden en cada uno de ellos así como su incidencia en el comportamiento durable.

Palabras-Clave: puente en arco, estado de conservación, metodología de evaluación.

1. INTRODUCCION

La evaluación de estructuras existentes ha despertado un interés creciente en los últimos años. Este interés ha venido provocado, fundamentalmente, por la preocupación lógica de las diferentes Administraciones y organismos públicos y privados, al existir ya un gran número de estructuras de edad avanzada que exigen unos costes elevados de mantenimiento, acondicionamiento, rehabilitación y reparación.

Dentro de las estructuras existentes, el conjunto de los puentes arco de fábrica (piedra, ladrillo u hormigón en masa o débilmente armado) forman un importante grupo no sólo cualitativo sino también cuantitativo.

La importancia de la evaluación estructural de los puentes de fábrica, como cualquier otra estructura, se funda en la conveniencia, convertida en necesidad, de conocer el comportamiento estructural tanto en condiciones de servicio como, de manera especial, en agotamiento, esto es, margen de seguridad.

Además de lo anteriormente dicho, en la mayoría de los casos, estas estructuras se crearon para satisfacer necesidades concretas del momento en que se construyeron, están siendo utilizadas para dar paso al tráfico moderno (aumento de intensidad y velocidad de tráfico, al igual que aumento en el número de transportes especiales), lo que conlleva la construcción de plataformas (ampliadas con muy desigual fortuna) y el consiguiente aumento de la carga permanente, más el notable aumento de las sobrecargas y un posible aumento en el efecto dinámico. Este cambio en



las condiciones de explotación, lleva asociado también mayores exigencias en calidad funcional y seguridad por parte de los usuarios.

El presente trabajo, se desarrolló a partir de la solicitud que el municipio de San José, Provincia de Entre Ríos formulara a la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la U.T.N., a fin de realizar un informe técnico del estado del puente ubicado en calle Dr. Bastián, esquina Entre Ríos, de la mencionada ciudad. El trabajo fue asignado al Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras (GIRE) que funciona en el del Dpto. Civil de dicha Facultad.

2. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Para la evaluación se plantearon cuatro etapas bien definidas a saber:

- 2.1. Inspección preliminar
- 2.2. Inspección detallada
- 2.3. Evaluación estructural
- 2.4. Diagnóstico.

2.1. Inspección preliminar

En función del programa de trabajos previstos inicialmente, se realizó una visita al puente con personal de Obras Públicas del municipio local, donde se expusieron los lineamientos del trabajo a desarrollar y se solicitó información sobre planimetría y materiales de construcción, con el fin de completar las planillas de antecedentes de obra. Si bien la respuesta fue muy positiva, no se encontró mucha información del puente.

El mismo, fue construido en el año 1915, sobre la vieja traza de la ruta nacional 14.

Se lo realizó, sobre las vías del ferrocarril que unían Concordia con Concepción del Uruguay, las cuales hoy se encuentran desafectadas.

Al producirse el corrimiento de la traza de la ruta 14, a su ubicación actual, el puente quedó situado sobre el acceso actual a San José, en calle Dr. Bastián, esquina Entre Ríos.

El acceso actual y principal a la localidad, quedará como un acceso secundario, ya que el principal, incluyendo el tránsito pesado, se está finalizando unos 1600 metros hacia el norte por la autovía nacional 14, descongestionando el mismo y sobre todo eliminando el tránsito pesado.



Figura 1 – Ubicación del puente



Estructuralmente, es un puente en arco de hormigón pobre, cuyas dimensiones de la calzada son, 6,67 metros de ancho por 27,12 metros de longitud.

Está constituido por tres arcos, dos de los cuales tienen 5 metros de luz libre y el central 5,7 metros.

La flecha es de 1,26 metros y la boquilla de 45 centímetros.

El material constitutivo es un hormigón pobre, usando como agregados arena, piedra y cascotes de ladrillos.

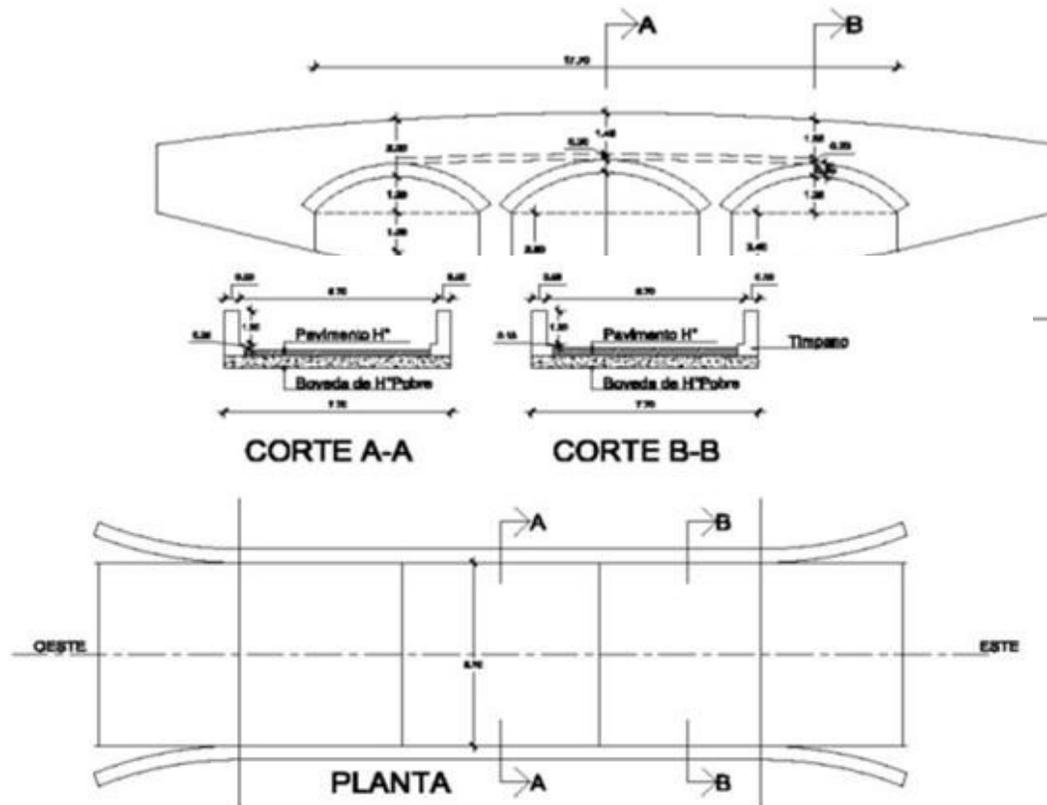


Figura 2 – Vista en planta y cortes del puente.

Tiene dos estribos y dos pilas centrales, construidas en mampostería de ladrillos, cuya altura para los estribos es de 1,36 metros cada una y para las pilas de 2,50 metros de promedio.

El espesor de las pilas es de 1 metro aproximadamente, ya que tiene un pequeño peralte, afinándose a medida que se aproxima la parte superior del mismo. El ancho es de 7,70 metros en ambos casos.

Las pilas y estribos descargan en las bases de mampostería en piedra y ladrillos.

La calzada es de hormigón armado, y los tímpanos de mampostería de ladrillo, de 50 centímetros de espesor por 1,20 metros de alto en promedio.

La calzada es una parábola de caída suave, lo que permite el desagüe de las aguas de lluvia por los extremos del puente, todo lo cual se aprecia en la Fig. 2.

El puente en su conjunto, se encuentra cubierto por revoque.



Dimensiones de la estructura

En esta Inspección rutinaria, se procedió inicialmente a realizar un relevamiento fotográfico del puente en general y de cada elemento en particular, a continuación se relevaron las medidas del puente y de sus elementos constitutivos.

Posteriormente se procedió a determinar si las bóvedas o arcos poseían armadura de acero en su interior.

Esta tarea se realizó con un detector de metales, el que arrojó un resultado negativo, confirmándose que la misma está constituida solamente por un hormigón pobre y no un hormigón armado.

Se determinó la existencia de múltiples fisuras en pilas, estribos, bóveda y tímpanos, lo que indica asentamientos diferenciales de las bases y desplomes de los mismos.

En los tímpanos, se aprecia claramente el efecto de los empujes horizontales, lo que provocaron fisuras y desplomes verticales entre las distintas secciones.

Se detectaron posibles problemas de carbonatación en la bóveda, como también problemas de lixiviación.

Toda esta información, fue volcada en las planillas de inspección preliminar, a lo que se agregó abundante material fotográfico.



Figura 3 – Vista Superior (izq.) e Inferior (derecha) del puente.



Figura 4 – Detección de armadura y material de la bóveda.



Figura 5 – Fisuras y desplomes en tímpanos.

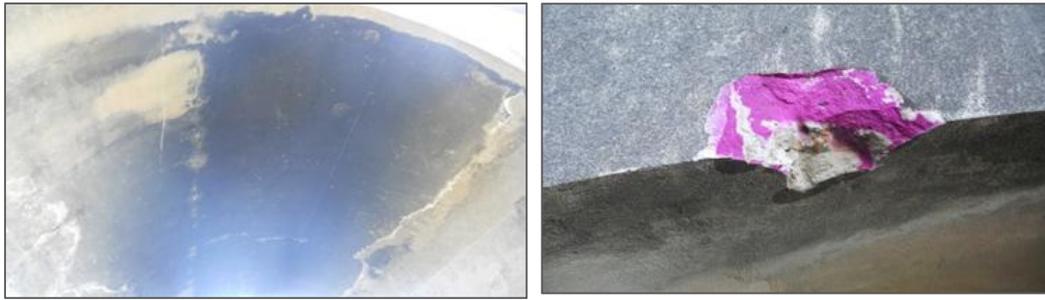


Figura 6 – Vista de fisuras, carbonatación y lixiviación en bóvedas.



Figura 7 – Medición de desagües y detalles materiales de la bóveda.

2.2. Inspección detallada

Luego de reconocidas las estructuras se efectuó una selección de las zonas y se procedió a la elaboración del plan de muestreo.

Se seleccionaron las técnicas y zonas de ensayos, mediciones y análisis físico-químicos en todos los elementos constitutivos del puente.

Calzada

La calzada tiene un ancho de 6,67 metros y una longitud de 27,12 metros. Está constituida por paños de hormigón de 15 cm de espesor. Este tipo de puentes, poseen drenajes que descargan el agua filtrada desde la carpeta rodante y el relleno, sobre la parte inferior de las bóvedas. Los drenajes inspeccionados, demuestran que se encuentran en excelente estado de funcionamiento. Se debe destacar que este puente en particular, posee una calzada con forma de parábola con suave caída hacia los dos extremos del puente, lo que provoca una rápida salida del agua por sus accesos. El resto del agua de lluvia que se filtra por el relleno, desagua por los drenajes antes mencionados. El inconveniente detectado, es que la carpeta rodante, constituida por paños de hormigón armado, se encuentra con múltiples fisuras, las juntas entre paños están abiertas, es decir carecen de una toma de junta que impida la filtración de agua hacia el interior del relleno.

El estado de dicha carpeta es bueno. Se observa un desgaste de la pasta en el hormigón, dejando al descubierto el agregado, el cual sobresale de la masa original.

Las juntas se observaron abiertas en todos los casos, así como también las fisuras en los paños, lo que quita impermeabilización y desmejora el andar.

El principal inconveniente observado es el ancho reducido del puente, comparado con el Acceso de doble vía y cantero central hacia el oeste y la prolongación de calle Bastián hacia el este.



Figura 8 – Vista general de la calzada.

Tímpanos

Están construidos en mampostería de ladrillo, protegidos con un revoque exterior. El ancho de cada uno de ellos, es de 50 cm y la altura desde la calzada alcanza un promedio de 1,2 metros, comenzando los mismos a la altura de las bóvedas.



Figura 9 – Vista general de los tímpanos sobre la calzada.

No se observaron problemas patológicos en los materiales constitutivos de los tímpanos. Así como tampoco problemas de impacto, que afecten a la estructura ni a la seguridad de los vehículos y conductores.

Las fisuras verticales y el desplome evidenciado entre las partes contiguas de los tímpanos, indican el efecto del empuje lateral provocado por el relleno. Esto se pone de manifiesto, en los tramos de los tímpanos, cercanos a los estribos del puente.

Además de las fisuras provocadas por el empuje lateral, se evidencian otras provocadas por desplome de estribos, descensos diferenciales entre bases de estribos y pilas. También se evidencian fisuras a nivel de la boquilla de la bóveda, lo que es indicativo de una diferencia de rigideces entre la bóveda y el tímpano.



Figura 10 – Fisuras provocadas por el empuje lateral cercano a los estribos.



Patologías observadas en relación al relleno

Dado que no se cuenta con información ni antecedentes de la obra, no fue posible, para los alcances de este trabajo, determinar si está constituido por material granular compactado. Si lo estuviera, no se observa pérdida del mismo por ningún elemento del puente por lo que se supone está bien confinado entre la bóveda, los tímpanos y la calzada.

No se midieron asentamientos diferenciales significativos que afecten a la carpeta rodante.

Bóveda o Arco

Los arcos del puente son tres. Los de los extremos, tienen una luz de 5 metros y el arco central 5,7 metros. La flecha de los arcos extremos es de 1,26 metros y el del arco central de 1,40, siendo la boquilla de 45 centímetros. El material constitutivo de los arcos, es un hormigón pobre, usando como agregados arena, piedra y cascotes de ladrillos. Se usó detector de metales para determinar la existencia de algún tipo de armadura, pero el resultado fue negativo.



Figura 11 – Detección de armaduras y vista de los tres arcos.

Se realizaron ensayos con fenolftaleína en varias partes de la bóveda, detectándose en todos los casos carbonatación avanzada. Con una profundidad del frente promedio de 2,5 cm. No se observaron problemas de desgaste ni de meteorización.

Se observó formación de manchas blancas -eflorescencias- por acumulo de carbonatos en la superficie del hormigón y en las zonas de mayor porosidad de las bóvedas.

Se observó fisuración cuya tipología responde a esta reacción, los ensayos necesarios para confirmar la existencia de la reacción superan los alcances de este informe. Como medida orientativa se puede decir, que este daño puede deberse a otras causas, como fisuración plástica, o secado prematuro etc., deberá iniciarse una investigación profunda tomando muestras de hormigón para efectuar exámenes petrográficos y mineralógicos del agregado. Recién entonces, si se considera que estos pueden ser potencialmente reactivos, se completa la batería de ensayos con métodos complementarios.

Además, se pudo observar las superficies ennegrecidas propias de esta afección, sin que denote riesgo para la estructura.

En las bóvedas extrema, se verifica la existencia de fisuras verticales en la boquilla, las que corresponden luego con fisuras transversales en el resto de la bóveda. Las fisuras tienen un espesor menor en el intrauno de la bóveda, lo que indicaría un desplome del estribo, debido a las fuerzas horizontales de descarga de la bóveda en los mismos. Las fisuras comienzan en 1 mm en el intrauno y finalizan en 3,5 mm en el intrados. Las bóvedas presentan una fisura longitudinal en



cada una de ellas, las que se prolongan en las pilas. Esto estaría indicando problemas de asentamiento diferencial en las bases, entre los extremos y el centro de las mismas. El espesor promedio de estas fisuras, es de 4 mm.

Las bóvedas extremas, presentan fisuras transversales, en coincidencia con las fisuras verticales de las boquillas. Esto es debido a desplomes de los estribos. Esta situación genera una rotula en cada bóveda, lo que cambia el esquema estructural resistente con el que fue calculado.

Se observa una fisura oblicua, en la bóveda extrema este, lo que indica un descenso diferencial de la base del extremo respecto al centro, produciendo torsión en la bóveda y la patología antes mencionada.

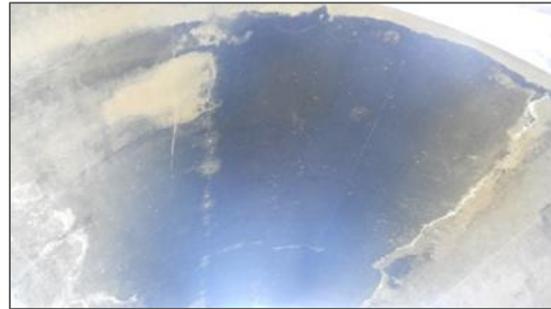


Figura 12 – Fisuras en boquilla, fisura transversal y lixiviación y ataque biológico en bóvedas.



Figura 13 – Fisuras en boquilla, fisura transversal y medición de espesores.



Figura 14 – Fisura longitudinal, ataque biológico y lixiviación en bóvedas.



Figura 15 – Fisura transversal y fisura en boquilla.

Pilas y Estribos

La estructura del puente, está constituida por dos estribos y dos pilas centrales, construidas en mampostería de ladrillos. La altura de los estribos es de 1,36 metros cada una y para las pilas de 2,50 metros de promedio. El espesor de las pilas es de 1,00 metro aproximadamente, ya que tiene un pequeño peralte, afinándose a medida que se aproxima la parte superior del mismo. El ancho de las pilas y estribos, es de 7,70 metros en ambos casos.

No se midió profundidad de carbonatación significativa, ni desgaste ni meteorización, en cuanto a la posibilidad de reacción álcali agregado, al igual que en los arcos, podría existir, ya que se observa igualmente la tipología característica y por último en cuanto a acciones biológicas se pudo observar el oscurecimiento típico sin mayor afección sobre el revoque.

No se observaron problemas de giro en las pilas y estribos.

Sin problemas de desplome, lo que han provocado las fisuras transversales vistas en las bóvedas.

En las pilas centrales, se observan fisuras longitudinales, en concordancia con fisuras longitudinales en las bóvedas, lo que indica un asentamiento diferencial entre el centro y los extremos de las bases. En el estribo este, se verifica una fisura transversal, lo que nos indica un asentamiento diferencial en la base.



Figura 16 – Medida de inclinación del estribo y fisura longitudinal de una pila.



Bases

Están construidas en mampostería de piedra y ladrillo y las dimensiones en planta son similares a las de las bases y estribos, incrementadas en unos 15 cm, que quedan como un reborde perimetral en las mismas.

No se observan problemas de degradación en ninguna de las bases.

Se verifican múltiples asentamientos en la cimentación, tanto asentamiento diferenciales entre bases colindantes, asentamiento diferenciales en una misma base entre los extremos y el centro y asentamientos diferenciales entre un extremo de la base y el centro.

Estos asentamientos, son los que provocan las múltiples fisuras en los tímpanos, bóvedas, pilas y estribos que se ha descrito anteriormente. No se detectaron problemas de giro en las bases.

Se verificaron desplomes en las bases, que ha provocado fisuras transversales en la bóveda como se ha descrito anteriormente. Estos desplomes, son debidos principalmente al el empuje horizontal de la descarga de fuerzas de las bóvedas extremas.

El puente fue diseñado para pasar sobre las vías del ferrocarril. Al no existir arroyo alguno, la socavación por este motivo es inexistente. La socavación por arrastre del agua de lluvia de la tierra circundante a las bases, también es inexistente.

2.3. Análisis estructural

Atendiendo a las recomendaciones vertidas por el Ing. Martínez J.L. [1] y, respetando las cargas mínimas fijadas por la Dirección Nacional de Vialidad en sus “bases para el cálculo de puentes de hormigón armado”[2], se realizó la comprobación de los elementos estructurales componente, en primer término se evaluó la capacidad resistente de los elementos pertenecientes a la superestructura con las cargas del reglamento mencionado, para luego, en función de este primer análisis, estudiar las sollicitaciones ejercidas sobre los elementos de las cimentaciones. El modelo estructural de cálculo se observa en la Fig. 17.

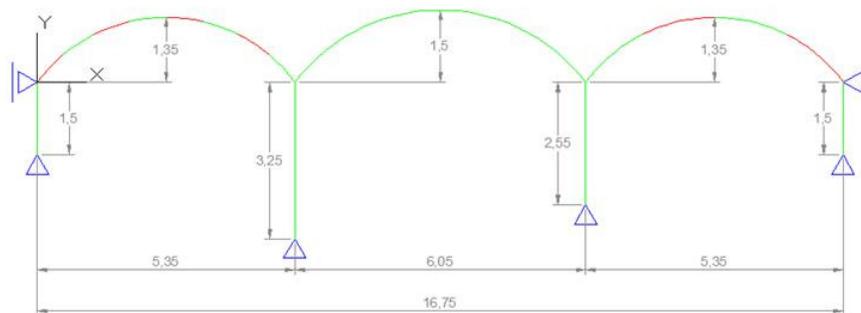


Figura 17. Modelo estructural de cálculo.

La comprobación estructural del puente en estudio se realizó de manera aproximada, atendiendo al hecho de que se desconocen muchos de sus elementos estructurales, como son la real naturaleza del relleno empleado; el material y espesor exacto con que se confeccionaron las bóvedas, como así también la resistencia real de todos estos materiales, entre otros parámetros.

Descripción del modelo

El análisis estructural se realizó atendiendo al modelo de cálculo ya mostrado en la Fig. 17, el que se modelizó, como pórtico plano, en un software tradicional de análisis estructural, de donde se obtuvieron los esfuerzos a que estará sometida debido a la acción de las cargas establecidas en las “bases para el cálculo de puentes de hormigón armado” de la dirección provincial de vialidad. El proceso se transcribe a continuación y el modelo cargado puede observarse en la Fig. 18.

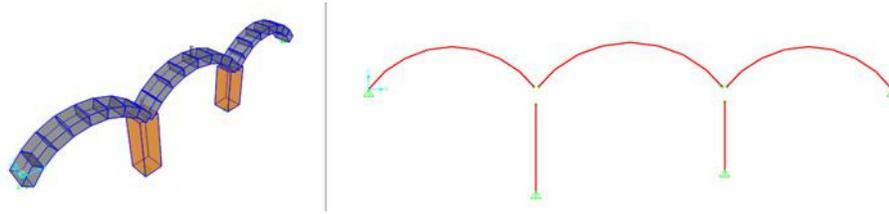


Figura 18. Estructura modelizada como pórtico plano (faja de 1m de ancho).

Resultados obtenidos

Actualmente, el puente presenta importantes fisuras en sus bóvedas de hormigón armado. En el presente estudio se lo analizó con y sin la presencia de las mismas, las que fueron modeladas a través de rótulas para el cálculo.

Se desprende del cálculo, que el hormigón de las bóvedas debería tener una resistencia característica de unos 30MPa (300 kg/cm²) aproximadamente, para soportar las cargas que estipula la Dirección Nacional de Vialidad para puentes de tipo A-20, correspondientes a los que no deben soportar tránsito de vehículos pesados (siendo esta la condición reglamentaria más benévola para este tipo de estructuras). De forma tal, con las condiciones supuestas para el puente, el mismo no resiste las cargas mínimas reglamentarias de la DNV.

Este hecho explica las fisuras transversales de las bóvedas, así como también, el resto de las mismas que se observan en el puente. Pero, al contarse con tan pocos datos sobre los materiales, en cuanto a sus características constructivas, sus resistencias, etc. no es posible realizar un diagnóstico con mayor precisión de la estructura.

Por otra parte, las pilas deben soportar tensiones mucho menores, debido a su importante sección transversal, no encontrándose comprometida su integridad y resistencia.

- Como segunda hipótesis de cálculo se consideró una carga menor a la estipulada por la Dirección Provincial de Vialidad correspondiente a un vehículo de 20ton., para lo cual se apeló a una norma reconocida como es la Norma Alemana DIN 1072 [3]. En ella se dispone, entre otros vehículo de carga, con uno de 12ton.
Se realizaron los cálculos nuevamente con éste vehículo y se verificó que los arcos del puente pueden soportarlo, aun atendiendo a las consideraciones de seguridad que se han tenido en cuenta.
- Cimentaciones: No es posible realizar una evaluación numérica de las cimentaciones sin haber realizado los correspondientes estudios de suelo y contar con mano de obra que realice un trabajo exploratorio, con la correspondiente supervisión profesional, de éstos elementos. La caracterización de su funcionamiento se realizará a través del efecto sobre la superestructura.

2.4. Diagnostico y Recomendaciones

El puente relevado, tiene una edad importante para la zona de casi 100 años.

El paso del tiempo y los excesos de carga, han provocado en el mismo, múltiples patologías en todos los elementos constitutivos del mismo.

El exceso de carga, se entiende por la fecha en la que fue construido (1915), época donde comenzaban a circular los primeros vehículos a motor y sobre todo por pertenecer este puente a la antigua ruta 14, eje de circulación de todo el litoral argentino hasta los años setenta.

Este exceso de cargas ha provocado en el puente múltiples patologías como ser: desplomes en estivos por exceso de cargas horizontales de las bóvedas. Asentamientos diferenciales en las bases, fisuras importantes en las bóvedas, tanto longitudinales como transversales, lo que ha



provocado la aparición de rotulas en las mismas y por ende un comportamiento estructural diferente. Desplomes y fisuras importantes en los tímpanos.

Todas estas patologías sin embargo, han sido atenuadas por la construcción de una carpeta de rodamiento de hormigón, lo que contribuyó a distribuir en una superficie mayor, las cargas concentradas de los vehículos.

El paso del tiempo, ha contribuido además a cubrir de impurezas la superficie del mismo, dando un aspecto de abandono.

Las recomendaciones son las siguientes:

- Al ser un puente con una antigüedad de casi 100 años, el mismo tiene un valor no tan solo de permitir la circulación de vehículos, sino histórico y arquitectónico para la ciudad y la zona en cuestión. Estos valores, deberían preservarse y aprovecharse turísticamente, poniendo en valor el mismo.
- Limitar la circulación de vehículos de carga, permitiendo tan solo vehículos cuyo peso total no superen las 9ton. Esta limitación, deberá materializarse con la colocación de limitadores de altura, debido a la imposibilidad fáctica de lograrlo por la propia conciencia de las personas y con cartelería que alerten al respecto
- Sellar las juntas de la carpeta de rodamiento de hormigón, a fin de lograr una mayor impermeabilización del relleno y las bóvedas.
- Sellar las fisuras de las bóvedas, con productos adecuados para tal fin.
- Rehacer los tímpanos en un todo o en las partes que han sufrido un desplome vertical, colocando mampostería armada que controle y mitigue en el tiempo las fisuras y desplomes.
- Poner en valor el puente y realzarlo arquitectónicamente, a través de una limpieza integral del mismo con elementos líquidos a presión, revocando y retocando los lugares afectados por fisuras, descascaramiento, etc. y una buena iluminación con artefactos que realcen la época histórica del puente.

3. CONCLUSIÓN

Si bien el cálculo estructural tienen una veracidad relativa, debido a que, como se mencionó, no se tienen registros de ningún tipo respecto de los cálculo realizados, materiales y procesos constructivos utilizados en el puente en estudio, se obtuvieron resultados esperados. Conforme a la bibliografía consultada para el presente trabajo [4][5], para la época de construcción del mismo, las cargas máximas utilizadas para el diseño de este tipo de obra de arte, rondaban las 10t, coincidentemente con lo obtenido en el análisis estructural.

Atendiendo a ésta carga máxima soportada, se desprende que el puente no cumple con la normativa actual para puentes de la Dirección Provincial de Vialidad pero, no hay que olvidar que se trata de una estructura histórica de la región, por lo que es prioritaria su conservación.

REFERENCIAS

- [1] Martínez J.L, Martín-Caro J.A, León J. (2003), "Evaluación Estructural de puentes en Arco de Fábrica". Monografía, Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. U.P.M. 184 pág.
- [2] Dirección Nacional de Vialidad. "Bases para el cálculo de puentes de hormigón armado". Buenos Aires 1967.
- [3] DIN 1072: 52- Cargas de diseño para puentes de carretera. Junio 1952.
- [4] AASHTO STANDARD, "Standard Specifications for Highway Bridges". 2002, 17^a Edition.
- [5] AASHTO LRFD, "Bridge Design Specifications". 2007.