

## **PUENTE CARRETERO SANTA FE-SANTO TOME: ANÁLISIS DEL ESTADO LUEGO DE 71 AÑOS DE SERVICIO**

**Yoris A. I.; Segovia M. D.; Belbey F. O.; Carrasco M. F.;  
Ulibarrie N. O.; Defagot C. A.**

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI)  
Facultad Regional Santa Fe – Universidad Tecnológica Nacional  
Lavaysse 610 - (3000) Santa Fe - ARGENTINA  
cecovi@frsf.utn.edu.ar

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza una pequeña reseña histórica sobre el Puente Carretero Santa Fe – Santo Tomé que une las ciudades homónimas separadas por el río Salado, formando parte del corredor vial de la Ruta Nacional N° 11; destacándose que al finalizar su construcción, este puente fue uno de los más importantes del mundo en su género y el mayor de Sud América.

Se describen sus características principales y métodos de ejecución utilizados, para poder entender a pleno su funcionamiento y algunas de las patologías que se observaron en la estructura. Se realiza un detalle pormenorizado de sus componentes junto a un análisis de su estado actual dando a conocer las exigencias a las que se encuentra sometido y una caracterización de su entorno natural y antrópico. Para tener una mejor idea de su condición se dan a conocer los resultados de algunos ensayos no destructivos realizados, consistentes en: determinación de la profundidad del frente de carbonatación, determinación de espesores de recubrimientos de armadura, determinaciones del índice de esclerometría y de la calidad del hormigón de recubrimiento, relevamiento de fisuras, desprendimientos y otras patologías. Se comparan los resultados aquí obtenidos con otras estructuras evaluadas en esta zona y con resultados obtenidos en trabajos de investigación, llevados a cabo por el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI).

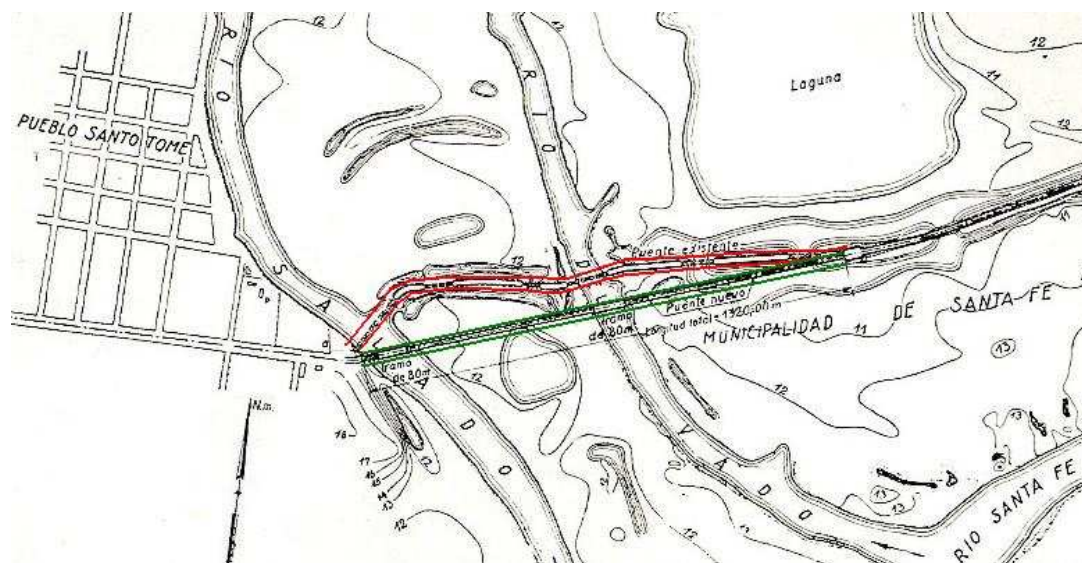
Hoy, a 71 años de su inauguración, debemos destacar la calidad de la construcción para el tráfico actual que soporta y para las continuas crecidas del río Salado a las que se ha visto sometido. Su estructura está ejecutada totalmente en hormigón armado y es causa de admiración el buen estado en que se encuentra a pesar de su casi inexistente mantenimiento; esta causa es particularmente una de las responsables de deterioros puntuales que se han relevado.

### **UN PUENTE CON HISTORIA**

Ya en el año 1856 se planteaba la importancia de una vía de comunicación con mayor fluidez entre las localidades de Santo Tomé y Santa Fe, integrando de esta forma la región debido al movimiento económico que impulsaba el puerto de esta última ciudad. Por lo que en dicho año, el ingeniero Demetrio Isola propone la construcción de un puente de madera entre ambas ciudades. Este puente recién se tendió en 1875 y fue construido por Ramón García, fue reparado en 1879 y 1904 prestando sus importantes servicios hasta 1906, año

en el que fue remplazado por un puente metálico, siendo uno de sus tramos levadizo sobre el cruce del río Salado [1].

Esta obra de comunicación estaba constituida por terraplenes estrechos y bajos, incluyendo tramos metálicos que sumaban una luz aproximada de 640 m. Todo ello conformaba un viaducto cuya traza era una poligonal abierta (Figura 1). No obstante su activa conservación por parte de la D.N.V. era de precarias condiciones pues, en época de lluvia, resultaba peligroso el paso de vehículos por sus terraplenes angostos y, en tiempo de creciente del río Paraná o del Salado, se interrumpía el tránsito quedando cortadas las comunicaciones hasta que descendían las aguas.



**Figura 1.** Trazo del Puente Carretero (verde) y del viejo puente metálico (rojo) (año 1936).

La creciente del río Salado del año 1935 arrasó con el terraplén de acceso a uno de los puentes; pese a quedar habilitado el viaducto después de una activa tarea, nunca se pudieron realizar trabajos duraderos. Esta circunstancia marcó el comienzo de gestiones activas de los hombres más destacados de la ciudad de Santo Tomé; las autoridades comunales convocaron a una asamblea de vecinos para nombrar una comisión, que se denominó Comisión Pro-Trazado del Nuevo Puente sobre el Río Salado [2].

Los antiguos puentes que comunicaban la ciudad de Santa Fe con la de Santo Tomé fueron cumpliendo su ciclo de vida útil debido a diversas causas -entre las que podemos mencionar la dificultosa transitabilidad, los problemas ocasionados por las lluvias, las frecuentes inundaciones y la necesidad de contar con un medio más moderno y adecuado para el traslado de empleados, obreros y el transporte de las mercaderías a la Ciudad de Santa Fe y la Mesopotamia en general- lo que motivó que se pensara seriamente en la construcción de un nuevo Puente [1].

Por tal motivo el 23 de octubre de 1936 la Dirección de Obras Públicas de Santa Fe llamó a licitación pública para la construcción de una nueva vía de comunicación entre ambas ciudades (Figura 2). El proyecto se adjudicó a la empresa constructora Gruen y Bilfinger S.A. de Buenos Aires cuyo proyecto y propuesta fueron considerados los más económicos y ventajosos, destacándose que esta propuesta representaba una economía del 8% respecto del presupuesto oficial. Las obras se iniciaron el 14 de julio de 1937 y finalizaron dos años más tarde, el 14 de julio de 1939. La dirección de los trabajos estuvo a cargo del ingeniero Guillermo Wagner. Por su parte la Dirección de Obras Públicas designó al ingeniero Don Alberto Cazeneuve como inspector de obra por parte de provincia [3].



Figura 2. Esquema actual del trazado del Puente Carretero.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Reconociendo la magnitud de la obra, la Dirección de Obras Públicas de Santa Fe, acordó con las empresas concurrentes la libertad de presentar proyectos propios, siempre que éstos se ajustasen a las condiciones siguientes:

- 1) Luz mínima de los tramos situados sobre los ríos Salado y Vado, fuera de 80 m;
- 2) Diferencia mínima entre las cotas de nivel de la creciente máxima conocida y borde inferior de las vigas principales del puente, de 1,50 m;
- 3) Ancho de la calzada no menor a 9 m;
- 4) No diferir en más de 10 m la longitud total del puente, de la propuesta oficial;
- 5) Preferencia a materiales del país o de fabricación nacional.

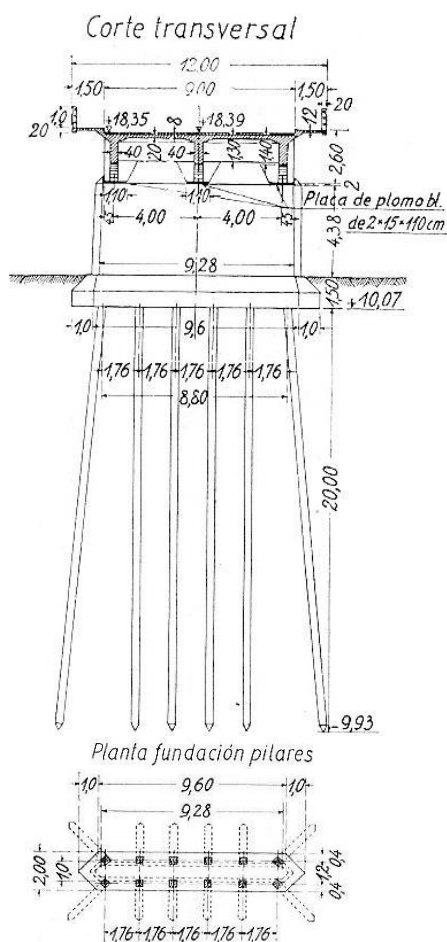


Figura 3. Sección y planta de tramos Gerber

En tal sentido el viaducto quedó compuesto de 58 tramos de 20 m de luz cada uno en viga Gerber y dos arcos atirantados parabólicos de 80 m de luz cada uno, ubicados sobre los ríos Salado y Vado, conformando así una longitud total de 1320 m en línea recta (Figura 2). Mientras el viejo puente de hierro obligaba a las aguas a pasar por aberturas cuyas luces sumaban 640 m aproximadamente, el actual puente carretero ofrece un perfil de escurrimiento que tiene alrededor de 1270 m de ancho libre (Figura 4).

La sección transversal del puente está formada por tres vigas principales distanciadas entre sí 4 m y la losa del tablero (armada en dos sentidos), que soportan la capa de desgaste de la calzada de 9 m de ancho y las dos veredas laterales en voladizo de 1,50 m cada una (Figura 3).

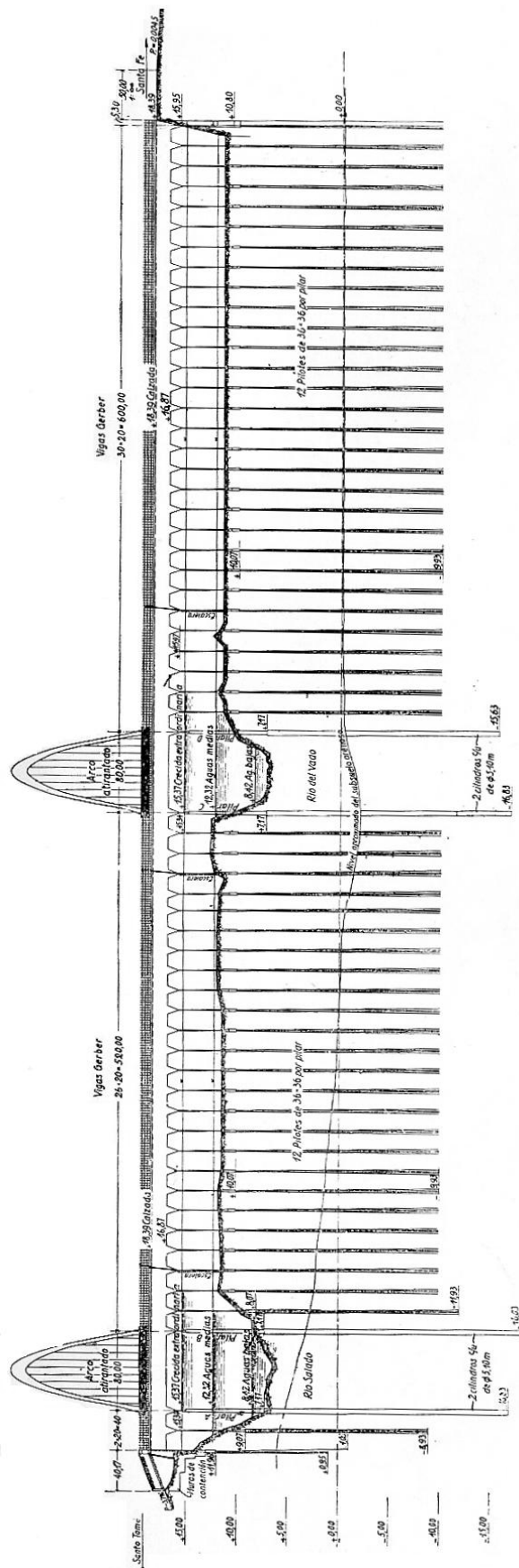


Figura 4. Perfil longitudinal del puente carretero

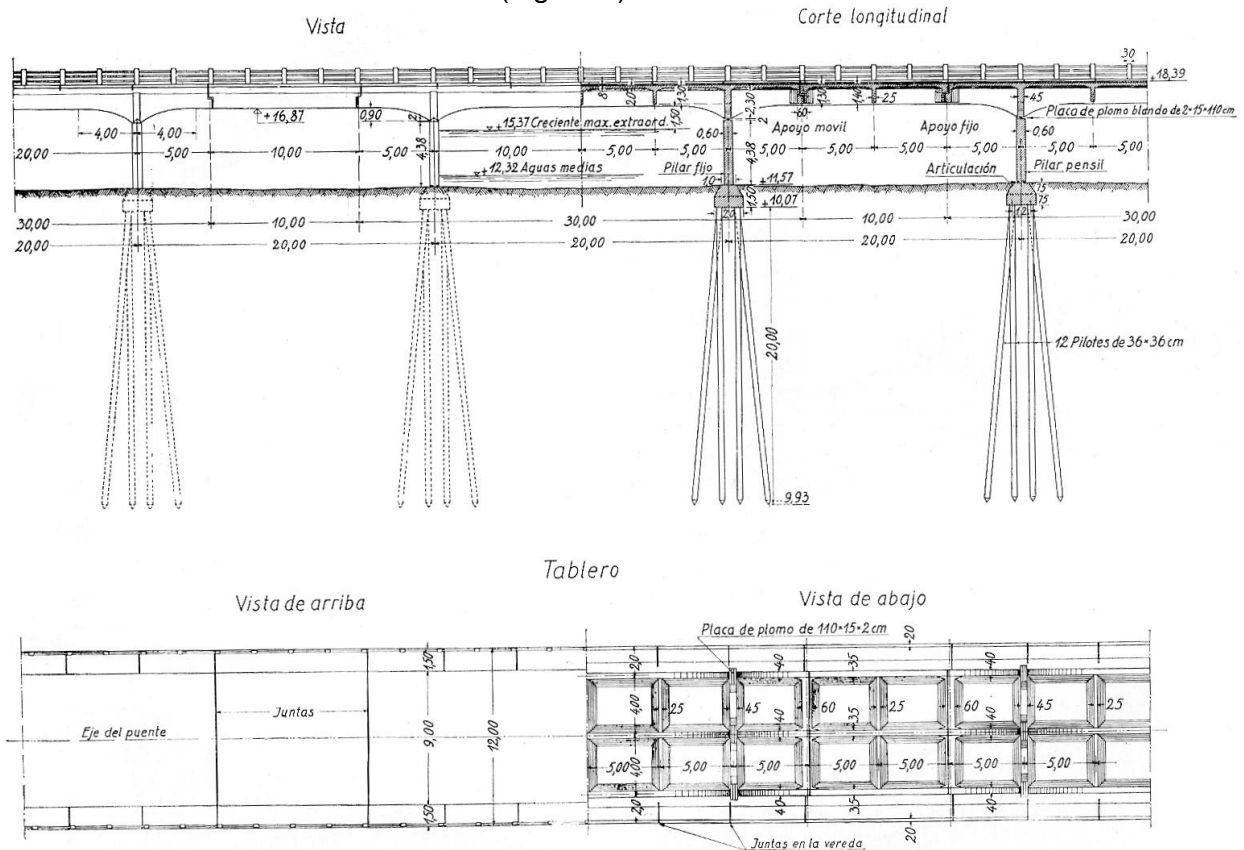
Los 58 tramos Gerber apoyan sobre igual número de pilares, los que a su vez transmiten las cargas sobre 12 pilotes de hormigón armado de 0,36 x 0,36 m y de 20 m de longitud (Figura 3). Estos pilotes se colocaron mediante hinca de los mismos en el lecho del río. En cuanto a los arcos, éstos se apoyan sobre pilares, cada uno de los cuales descargan sus reacciones sobre dos cilindros de fundación huecos de 4,50 m de diámetro con paredes doblemente armadas de 0,60 m de espesor y de 24 m de longitud, medidos desde el fondo del lecho del río hacia abajo (Imagen 1). Todo esto debido a que el subsuelo resistente se encuentra a 10 m aproximadamente debajo del terreno natural del bañado, constituido esencialmente por arena (Figura 4).

En los apoyos de las vigas principales de los tramos Gerber se han intercalado, entre éstas y los pilares, placas de plomo atravesadas por pernos, las que aseguran la libre rotación de las vigas. Como apoyos móviles funcionan los pilares pensiles dispuestos alternadamente, es decir: pilar por medio se ha dotado para este fin en sus extremos, de articulaciones formadas arriba, por dichas placas de plomo y abajo, entre fuste y cimienta, por reducción de la sección de H<sup>o</sup> y barras cruzadas (Figuras 3 y 5).

La carpeta de rodamiento era de hormigón simple, de 8 cm de espesor, interrumpido por juntas de dilatación dispuestas a separación prudencial; el declive transversal necesario para el desagüe de la calzada se lo obtuvo dotando ya la losa de la inclinación correspondiente.

Las veredas se han interceptado con juntas transversales, sobre los pilares y a 5 m de ellos, para evitar la aparición de las fisuras que, sin tal precaución, se producirían tanto por participar la vereda en la absorción de las tensiones de tracción provocadas, por los momentos negativos, en la zona adyacente de las vigas principales, como por los efectos del fraguado y de la dilatación térmica, a los cuales la vereda está mucho más expuesta que las restantes

secciones de la estructura del tablero (Figura 5).



**Figura 5.** Viaducto de tramos Gerber, detalles en vista y corte.

Para cubrir las luces de 80 m sobre los ríos Salado y Vado se adopta el sistema llamado "arco atirantado" e isostáticamente apoyado, con tablero colgante; sistema en el cual el empuje horizontal queda absorbido por la "cadena", elemento extendido que vincula entre sí los arranques del arco. De acuerdo al concepto clásico de este sistema se elimina mediante juntas la rigidez del tablero, dejando la cadena separada completamente de éste. El "arco y cadena rígidos" consideran la rigidez efectiva tanto del arco como de la cadena y aprovechan, en vez de negarla o reducirla, la homogeneidad de la estructura monolítica, privilegio característico del hormigón, manteniendo mejor equilibrio manifiesto entre arco y tablero, y resulta más económico.

Un detalle a destacar son los rastrillos de acero moldeado que cubren, en la capa de desgaste, las juntas de dilatación, en los extremos del voladizo de los arcos, vecinos a su apoyo móvil. Los tapajuntas comunes no serían aptos aquí, pues en estas juntas, donde se desarrolla la dilatación de un tramo de 90 m de longitud, se prevén movimientos horizontales de hasta 5 cm [4].

## Tareas de Ejecución, Detalles a Destacar

### I. Las fundaciones

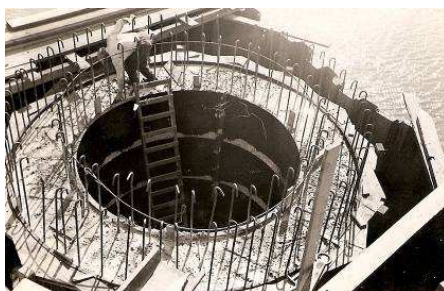
Para construir los cilindros huecos sobre los que apoyan los pilares que soportan los arcos del puente fue necesario ejecutar recintos en el río de 10 m de largo por 15 m de ancho con tablestacas de acero, bombear el agua y llenarlos con tierra hasta el borde superior, a 2 m del nivel del agua y emparejar su superficie; conformando islas artificiales. Sobre esas



superficies se construyeron anillos de 2,50 m de altura que, una vez fraguados se los fondeaba por gravitación extrayendo la tierra desde su interior. El primer anillo de cada tubo es un tronco de cono de 5,10 m de diámetro en la base mayor, siendo los anillos siguientes de 4,50 m de diámetro. Bajados a su cota definitiva, los cilindros fueron sellados por su parte inferior con un tapón de 2,5 m de espesor. El interior de los cilindros quedó sin relleno, porque éste aumentaría la presión de la solera, sin mejorar la estabilidad de la fundación.

## II. El viaducto

El encofrado de los tramos principales iba sostenido por tres vigas metálicas, reforzadas por un tercer cordón traccionado, que salvan sin apoyo intermedio la luz de 20 m comprendida entre los pilares. El encofrado de los voladizos apoyaba sobre un andamio de madera, armado sobre pilotes, también de madera, que podían ser utilizados repetidas veces, extrayéndose una vez retirado el andamio e hincándose nuevamente para el sostén de otro voladizo (Imagen 2). El encofrado de los tramos, suspendidos, cuya construcción se realizaba con cierta posterioridad a la de los tramos principales, descansaba sobre tres vigas metálicas, colgadas en los extremos de los voladizos, ya desencofrados, mediante fuertes bulones que atravesaban la losa de los voladizos por agujeros dejados para este fin. Gracias a esta instalación se podía ejecutar la superestructura del viaducto en progreso continuo y a salvo de las crecidas que podrían inundar el terreno (Imagen 3).



**Imagen 1.** Ejecución de los cilindros para la fundación de los pilares de los arcos.



**Imagen 2.** Encofrado de los tramos principales de las vigas Gerber.



**Imagen 3.** Encofrado colgado de los tramos suspendidos de vigas Gerber.

## III. Los arcos

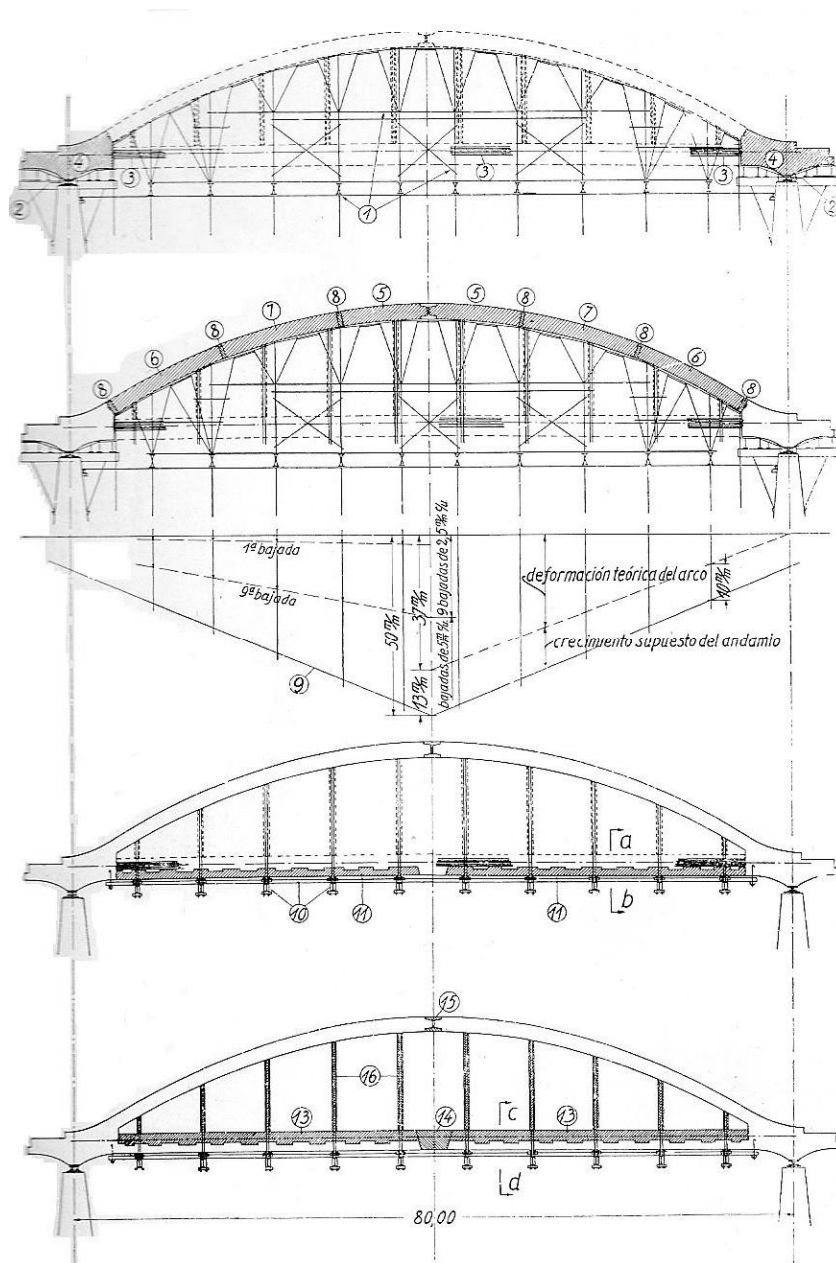
Los fines primordiales para su ejecución (Figura 6) fueron los siguientes:

1. Reducir a valores económicamente tolerables los momentos flectores producidos, por tratarse de un sistema hiperestático, por
  - La variación de la longitud de cadena y arco, debida a las fuerzas normales que los solicitan;
  - El efecto del fraguado;
2. Impedir que apareciesen fisuras en el hormigón de los elementos sometidos a tracción, que son: la cadena y las péndolas.

Para cumplir con dichas exigencias se optó por los siguientes procedimientos:

- 1.1. Hacer la estructura originalmente isostática y no transmutarla en el sistema hiperestático definitivo sino cuando ya soporta toda su carga permanente, dotando el arco de una articulación provisoria en la clave, convirtiéndolo así en un sistema isostático, articulación que no se cierra sino hasta que actúe toda la carga muerta, consiguiéndose que dicha carga no provoque en la estructura tensión secundaria (Imagen 5).

- 1.2. Hormigonar la armadura de la cadena y vincularla al tablero recién cuando esta trabaje a tracción, que corresponde a la carga permanente del tramo; aplazar el revestimiento también de las barras de las péndolas hasta que ellos estén solicitados ya por toda la carga permanente del tablero suspendido (Imagen 6).



#### REFERENCIAS :

- 1- Construir la cimbra
- 2- Montar los apoyos
- 3- Colocar la armadura central de la cadena (Imagen 7)
- 4- Ejecutar arranques del arco
- 5- Colocar barras de péndolas
- 6- Encofrar y armar los arcos y su arriostamiento (Imagen 5)
- 7- Hormigonarlos en secciones
- 8- Cerrar juntas entre secciones

#### A LAS CUATRO SEMANAS:

- 9- Descimbrar el arco – desmontar la cimbra
- 10- Colgar el encofrado del tablero
- 11- Ejecutar el tablero, menos la parte superior de la cadena y la vereda

#### A LAS CUATRO SEMANAS:

- 12- Repartir sobre el tablero necesario para terminar la estructura
- 13- Terminar el tablero, menos su tramo central

#### A LOS TRES DÍAS:

- 14- Hormigonar el tramo central
- 15- Cerrar la articulación provisoria en la clave del arco
- 16- Envolver las péndolas
- 17- Retirar encofrado del tablero

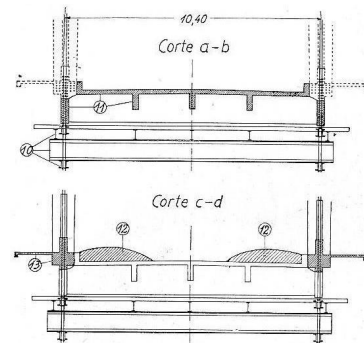
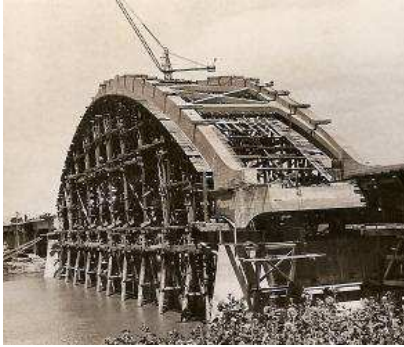


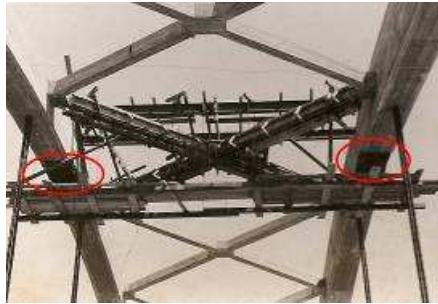
Figura 6. Método de ejecución. Plan de trabajo que se siguió para la realización de los arcos

## IV. Descimbrado

En las imágenes 9 y 10 se observan los apoyos fijos y móviles, respectivamente, correspondientes a los arcos atirantados. Se destaca que los apoyos móviles sufrieron un desplazamiento aproximado de 25 mm al descimbrarse los arcos.



**Imagen 4.** Uno de los arcos con su correspondiente cimbra.



**Imagen 5.** Articulación provisoria en la clave del arco.



**Imagen 6.** Tramo central sin hormigonar para evitar la contracción por fragüe.



**Imagen 7.** Ubicación de barras de 50 mm de diámetro correspondiente a la cadena.



**Imagen 8.** Empalme de barras mediante "manguitos" en el tramo medio del arco.



**Imagen 9.** Apoyo fijo de los arcos.



**Imagen 10.** Apoyo móvil de los arcos.

## V. Encofrado del tablero

Mientras era desarmado el andamio y extraídos los pilotes de su subestructura, ya se iba colgando en los extremos de los barras de las péndolas, dejados previamente más largos de lo que requería su función definitiva, vigas transversales metálicas, de aproximadamente 11 m de longitud, sobre las cuales se colocaban largueros destinados a apoyar el encofrado del tablero y de la cadena. En el tramo central del tablero, situado bajo la clave del arco, los largueros quedaban deslizables y el encofrado interrumpido para que no participaran, vinculando entre sí los arranques, del trabajo de la cadena (Imagen 11).

## VI. Hormigonado del tablero y de la cadena

Las etapas que se siguieron en el hormigonado fueron las siguientes:





**Imagen 11.** Encofrado del tablero suspendido en péndolas.

- Hormigonar el tablero y la parte inferior de la cadena. Procediendo simétricamente al centro de la luz, se hormigonaba hacia los arranques todo el tablero, y la cadena hasta inmediatamente debajo de su armadura central (40 barras de 50 mm de diámetro). El tramo, tanto del tablero como de la cadena, situado bajo la clave del arco quedaba todavía abierto, por las razones ya expuestas. En este tramo, también la armadura inferior de la cadena, colocada ya antes de hormigonarse los arranques de los arcos, estaba aún interrumpida, para que no colaborara en los esfuerzos de tracción de la cadena.
- Colocar carga previa y terminar el tablero y cadena.
- Cerrar el tramo central y la articulación provisoria, revistiendo por último las péndolas.

### **Materiales utilizados y obreros empleados**

Al concluir la obra del Puente Carretero se utilizaron para su construcción:

- 17.000 m<sup>3</sup> de hormigón
- 25.000 toneladas de pedregullo
- 7.000 toneladas de cemento
- 8.000 m<sup>3</sup> de arena
- 3.200 toneladas de acero redondo liso.
- 350 m<sup>3</sup> de madera en la construcción de andamios para levantar uno de los arcos.

La mayoría de los materiales que se utilizaron en la obra fueron de nuestro país, con excepción del acero que procedía de Alemania. El pedregullo procedía de Córdoba, la arena del río Paraná y el cemento de la fábrica de Paraná,

Los obreros que trabajaron en la construcción fueron aproximadamente 220, la mayoría de ellos de la capital santafesina y de Santo Tomé, con excepción de los encargados de la dirección técnica y los obreros especializados [5].

### **CONDICIONES DE EXPOSICIÓN**

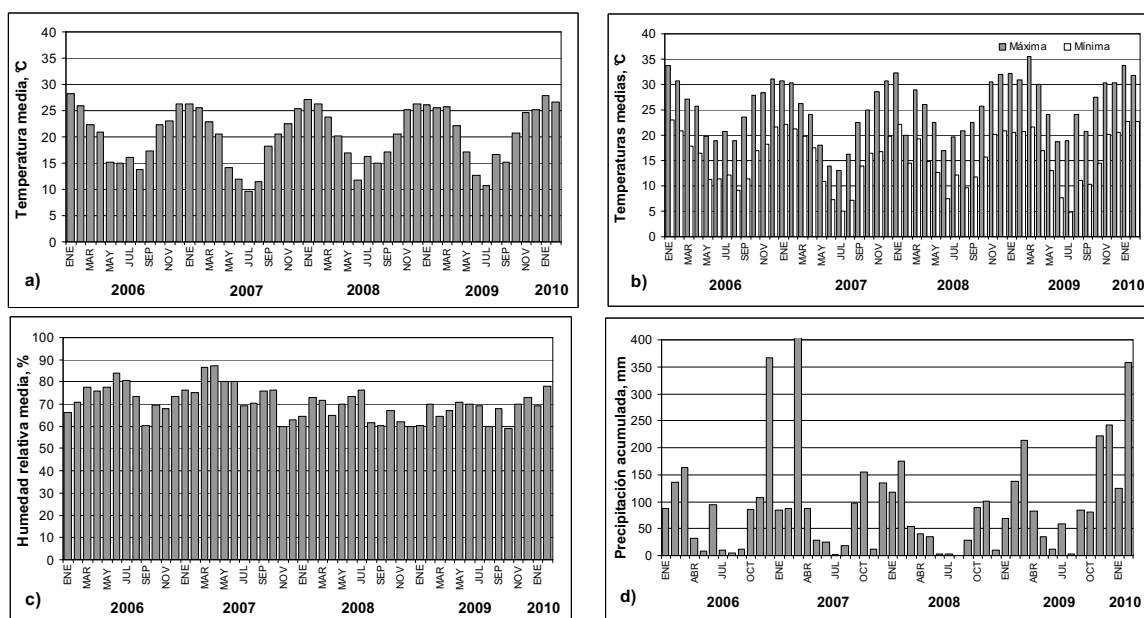
El Puente Carretero Santa Fe – Santo Tomé se encuentra emplazado en la cuenca inferior del río Salado. Una característica destacable de esta zona es la alternancia de sequías e inundaciones. Las precipitaciones en esta área son menores durante el invierno, se incrementan en la primavera y llegan al máximo durante el verano, siendo marzo el mes más lluvioso (Figura 7-d).

Un aspecto interesante de cuantificar es la crecida del Salado en términos de caudal. El caudal medio del río Salado es de 150 m<sup>3</sup>/seg; sin embargo existen registros de crecidas importantes entre el año 1952 y el 2000. Los registros muestran valores del orden de 2600 m<sup>3</sup>/seg en el año 1973 y 2700 m<sup>3</sup>/seg en el año 1998. Estos datos son muy importantes para poder realizar un análisis del comportamiento del río, donde se observa que la relación del caudal en la inundación con respecto al caudal medio, es del orden de 20 veces mayor [6-7].

Se detalla a continuación un registro de crecidas medidas en caudales aguas arriba del Puente Carretero [7]:

|               |                          |
|---------------|--------------------------|
| Año 1973..... | 2600 m <sup>3</sup> /seg |
| Año 1978..... | 1800 m <sup>3</sup> /seg |
| Año 1981..... | 1400 m <sup>3</sup> /seg |
| Año 1998..... | 2700 m <sup>3</sup> /seg |
| Año 2003..... | 3100 m <sup>3</sup> /seg |

Durante esta última inundación se registraron velocidades superiores a 2,5 m/seg y según estudios con los que contaba el Centro Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua (INA), las inundaciones que se produjeron en el año 2003 se corresponden con una crecida de 100 años de recurrencia. Esto pudo ser corroborado mediante comparación de las imágenes correspondientes a dicha inundación con los niveles estimados que contaba el INA, las cuales eran prácticamente idénticas [6].



**Figura 7.** Datos meteorológicos de Santa Fe entre los años 2006 y 2010.

El nivel máximo de agua que se registró en la costa "santotomesina" durante esta crecida extraordinaria fue de 14,70 m. (cota IGM) [8]. En este sentido, en la Figura 4, se puede observar que la cota de crecida extraordinaria para la que fue diseñado el puente corresponde a 15,37 m., por lo que la mencionada inundación estuvo a 0,67 m de alcanzar la cota de diseño.

En la Figura 7 se resumen los datos meteorológicos correspondientes a la ciudad de Santa Fe, la cual posee una clasificación de ambiente A3 de acuerdo al proyecto de Reglamento CIRSOC [9].

Con respecto al tránsito vehicular que circula por el Puente Carretero, ya en 1933, cuando el camino a Rosario no estaba terminado, se registraba un pasaje medio de 1.500 vehículos diarios, que atravesaban el viejo puente metálico. Cuatro años después, el tránsito se elevaba a 2.000 automóviles por día, antes de ser habilitado el actual puente carretero [1]. En la actualidad se registran diariamente más de 40.000 vehículos, por lo que el congestionamiento en esta vía de comunicación es un problema que se cita a diario [10].

## ENSAYOS Y RESULTADOS

Las evaluaciones se realizaron únicamente en el arco correspondiente al margen de Santo Tomé (arco 1), realizándose solo una inspección visual en el segundo arco y en los tramos de vigas Gerber que se ubican próximos a ambos arcos. No se extrajeron muestras de hormigón debido a que no se contaba con este permiso por parte de la D.N.V., únicamente se retiraron muestras de hormigón de recubrimiento que ya se encontraban desprendidas.

### Profundidad del Frente de Carbonatación

Esta determinación se realizó en los arranques de los arcos, las péndolas y en algunos sectores de las cadenas. Para lo cual se procedió a retirar un trozo de hormigón de recubrimiento, rociándose la perforación con una solución alcohólica de fenolftaleína, luego de haberse limpiado la superficie mediante pincel. Debido a los resultados que se obtuvieron, las determinaciones siguientes se realizaron gastando la superficie del hormigón a evaluar con una piedra (Imagen 13). En ninguno de los casos se obtuvo carbonatación, lo cual provocó una gran incertidumbre, debido a que no se esperaban estos resultados.

Los resultados obtenidos en esta determinación son motivos de futuras evaluaciones e investigaciones más profundas para poder comprender este fenómeno. Se estima, que debido a la antigüedad de la estructura, características del cemento utilizado en esa época y de la compacidad del hormigón, este podría presentar una mayor resistencia al avance del frente de carbonatación, a pesar de encontrarse en un ambiente donde las condiciones de humedad, temperatura (Figuras 7) y contenido de CO<sub>2</sub> son propicias para el desarrollo de este fenómeno.

En las muestras de hormigón retiradas, se verificaron estos resultados con solución alcohólica de fenolftaleína (Imagen 14) y con solución acuosa, al 0,1 %, de amarillo de alizarina. Con estas verificaciones se pudo observar que en el orden de 1 cm de recubrimiento hay una disminución del pH del hormigón, encontrándose en un rango entre 9 y 11, a juzgar por los resultados encontrados con el amarillo de alizarina; de todos modos no deja de ser un comportamiento muy interesante.



**Imagen 12.**  
Determinación próxima a una barra corroída.



**Imagen 13.** Determinación de carbonatación sobre fisuras en los arranques.



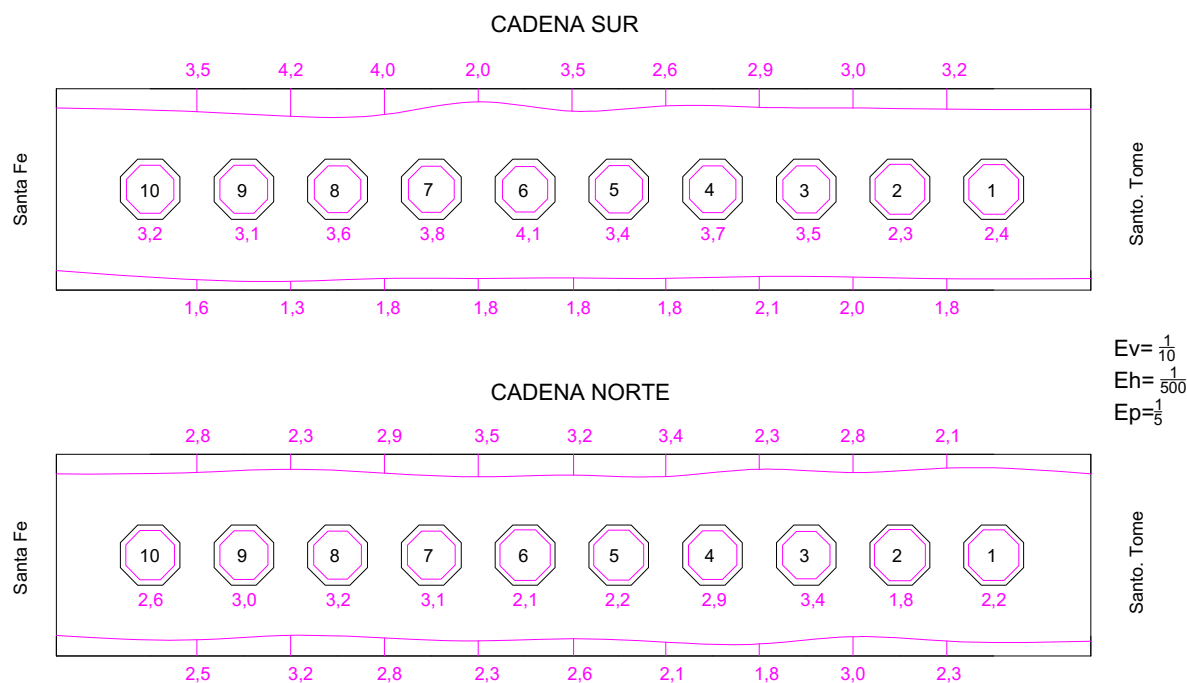
**Imagen 14.** Determinación de carbonatación en hormigón de recubrimiento retirado.

### Espesores de Recubrimiento

Los espesores de recubrimiento se midieron en los tramos inferiores de las péndolas y en sectores intermedios de las cadenas entre cada péndola; para ello se utilizó un detector de armaduras metálicas, Profometer 5 marca Proceq (Imagen 15). En el caso de las péndolas

los espesores de recubrimientos corresponden a los estribos de las armaduras y en el caso de las cadenas, a la armadura principal.

En el esquema de la Figura 8 se puede observar una notable disminución del espesor de recubrimiento de las armaduras en la cara interior de la cadena sur, deficiencia que se atribuye a un problema en la ejecución.



**Figura 8.** Determinación de espesores de recubrimiento promedios (en cm) en plata de arco.

## Esclerometría

Para la determinación del índice esclerométrico se empleó un esclerómetro tipo N, (energía de impacto 0,225 kgm), marca Cosacov, número 180587-2. Debido a que no se detectó carbonatación en la estructura no se consideró la influencia de la misma en las lecturas, tampoco se procedió a realizar desgaste en la zona de aplicación del instrumento ya que el hormigón se encontraba parejo y en muy buenas condiciones.

Se realizaron 16 determinaciones, según esquema en imagen 16, obteniéndose luego el promedio correspondiente a cada elemento. Se realiza una estimación de la resistencia a compresión, para hormigones de piedra partida, utilizando la ecuación 1 y contemplando que la semiamplitud del intervalo de confianza, para resistencias a compresión del orden de 35 MPa, es de aproximadamente el 20 % (Tabla 1) [11].

$$\sigma = 1,35 * N - 21,1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

En la figura 9 se puede ver que el hormigón de recubrimiento del lado norte es de mejor calidad que el del lado sur. Esto es coincidente con las observaciones visuales que se realizaron, en las cuales se detecta un lavado del hormigón de recubrimiento en las caras con orientación al sur de todos los elementos de la estructura. Esto se atribuye a que los vientos y las lluvias predominantes son del sur (Imagen 17).





Imagen 15. Determinación de espesores de recubrimiento.



Imagen 16. Esclerometría, esquema de determinaciones.



Imagen 17. Lavado del Hº de recubrimiento.

Tabla 1. Índice esclerométrico con estimación de la resistencia a compresión.

| Arco 1 (Margen Santo Tomé) |                     |   |                       |                          |                              |      |
|----------------------------|---------------------|---|-----------------------|--------------------------|------------------------------|------|
| Arco                       | Elemento            |   | Índice Esclerométrico | Resistencia a compresión | Intervalo de Confianza (Mpa) |      |
|                            |                     |   | Promedio              | (Mpa)                    | Máx.                         | Mín. |
| Lado Sur                   | Arranque Santa Fe   | 1 | 43                    | 36                       | 44                           | 29   |
|                            | Cadena              | 2 | 42                    | 36                       | 43                           | 28   |
|                            | Péndola 1           | 3 | 42                    | 36                       | 43                           | 28   |
|                            | Péndola 3           | 4 | 40                    | 33                       | 39                           | 26   |
|                            | Péndola 5           | 5 | 40                    | 33                       | 39                           | 26   |
|                            | Péndola 7           | 6 | 39                    | 32                       | 38                           | 25   |
|                            | Péndola 9           | 7 | 42                    | 36                       | 43                           | 28   |
|                            | Arranque Santo Tomé | 8 | 42                    | 35                       | 42                           | 28   |
| Lado Norte                 | Arranque Santa Fe   | 1 | 49                    | 44                       | 53                           | 36   |
|                            | Cadena              | 2 | 42                    | 35                       | 42                           | 28   |
|                            | Péndola 1           | 3 | 46                    | 41                       | 49                           | 33   |
|                            | Péndola 3           | 4 | 44                    | 38                       | 46                           | 31   |
|                            | Péndola 5           | 5 | 44                    | 38                       | 46                           | 31   |
|                            | Péndola 7           | 6 | 43                    | 37                       | 44                           | 30   |
|                            | Péndola 9           | 7 | 43                    | 37                       | 44                           | 30   |
|                            | Arranque Santo Tomé | 8 | 48                    | 44                       | 52                           | 35   |

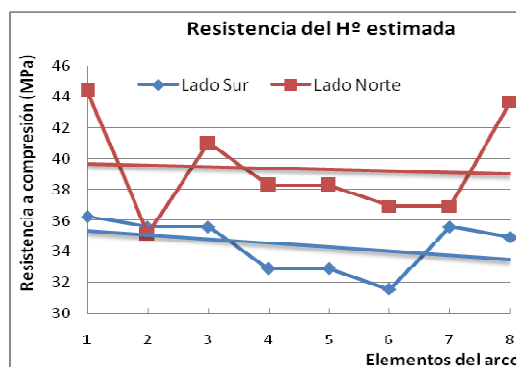


Figura 9. Variación de la resistencia a compresión estimada en hormigón de recubrimiento según los diferentes elementos del arco.

### Caracterización del Hormigón de Recubrimiento

Tabla 2. Resultados: ensayos en muestras de Hº.

| Muestra de Hormigón               | 1          | 2         |
|-----------------------------------|------------|-----------|
| Resistencia a la Compresión (Mpa) | 38         | 33        |
| Absorción Total (%)               | 4,0 ± 0,3  | 3,8 ± 0,2 |
| Porosidad Total (%)               | 10,2 ± 0,8 | 9,3 ± 0,5 |
| Densidad seca (kg/m³)             | 2490       | 2480      |

Los hormigones de recubrimiento que se pudieron retirar corresponden a la péndola 5 -lado sur- (muestra 1) y a la péndola 3 -lado norte- (muestra 2) en los encuentros con las cadenas (Figura 8). A éstos se le efectuaron ensayos en laboratorio consistentes en: absorción, densidad y porosidad. En la tabla 2 se dan a conocer estos resultados sumada la resistencia a

compresión, estimada mediante esclerometría, correspondientes a dichas péndolas.

Aquí debemos destacar que la sección de las péndolas es octogonal, desarrollándose en una circunferencia de 25 cm de diámetro, contando su armadura con 4 barras de 50 mm de diámetro y 2 barras de 22 mm de diámetro, más la presencia de los estribos de las armaduras.

## ESTADO ACTUAL

Se detalla a continuación un análisis visual del estado actual del Puente Carretero, para el mismo se divide la estructura según sus componentes para un análisis pormenorizado.

### Arranques del Arco

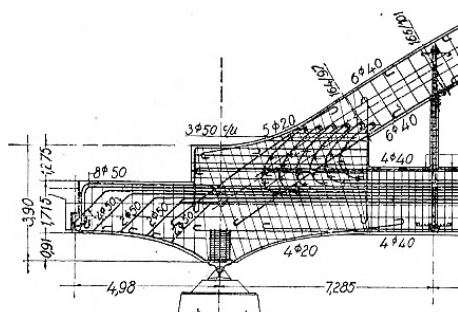
En los arranques de los arcos se observan fisuras que parten del encuentro con el voladizo de la vereda hasta el comienzo del arco propiamente dicho con una inclinación entre  $30^\circ$  y  $45^\circ$  respecto de la horizontal. Estas fisuras se observan, en mayor o menor medida, en todos los arranques de ambos arcos (Imagen 18); encontrándose sobre la sección del tablero, y no por debajo.



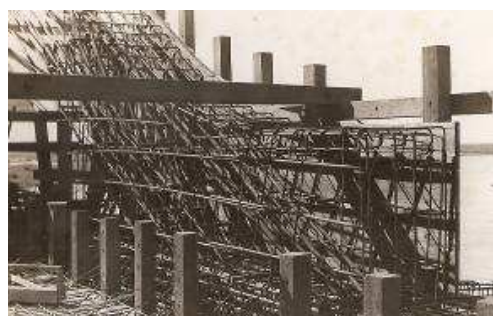
**Imagen 18.** Fisuras en los arranques de los arcos.

Se puede atribuir esta patología a un posible descenso o movimiento de la cadena, provocando tensiones entre esta última y el arco; ya que este sector donde se dan las fisuras es el vértice de encuentro entre el arco y la cadena (Figura 10).

Se descarta la posibilidad de que las fisuras se deban a la corrosión de las barras porque de ser así, ésta se debería a un avance del frente de carbonatación que despasaría la armadura dejándola propensa a la corrosión, y las barras que primero se corroerían serían los estribos de las armaduras, siendo la dirección de éstas, horizontal (Imagen 19).



**Figura 10.** Disposición de las armaduras en el arranque de los arcos, según planos de obra.



**Imagen 19.** Armadura en el arranque, en el momento de la construcción.

### Arcos y Péndolas

En forma general los arcos presentan un buen aspecto sin desprendimientos de recubrimiento ni fisuras a simple vista. Se hicieron observaciones puntuales de desprendimiento de recubrimiento con la consecuente corrosión de la barra descubierta (Imagen 20) y de falta de compactación en el colado del hormigón en el arco 2 -ubicado del

lado de Santa Fe- (Imagen 21) en las juntas entre las secciones de hormigonado, definidas según el plan de ejecución (Figura 6). Estos casos puntuales se deben a un mal sellado de las juntas correspondientes.



**Imagen 20.** Arco: desprendimiento de hormigón de recubrimiento en junta (provisoria de ejecución) con corrosión en barra.



**Imagen 21.** Hormigón de junta (provisoria de ejecución) mal compactado con oquedades superficiales.



**Imagen 22.** Péndola, encuentro con cadena: desprendimiento de Hº de recubrimiento y corrosión.

En las péndolas se observa fisuración con desprendimiento de recubrimiento en los encuentros de éstas con los arcos y las cadenas (ya que estas, en dichos nudos, fueron diseñadas como articulaciones, pero en la realidad se encuentran empotradas), además de un grado avanzado de corrosión en las barras descubiertas. Esta observación se registra en las péndolas del tramo central y en las dos primeras desde los arranques hacia el centro (Imagen 22 y 23). Como en el caso de los arranques, las patologías aquí citadas se atribuyen a algún problema estructural y no de materiales precisamente. Esta conclusión es motivada por dos razones: el hormigón de recubrimiento no se encuentra carbonatado y no hay presencia de cloruro en el ambiente.

Los desprendimientos que se han producido en el hormigón de recubrimiento de los elementos del puente, han sido reparados en su mayoría. No obstante, estas intervenciones son deficientes, encontrándose la mayoría de ellas ya fisuradas y con desprendimientos del mortero de reparación (Imagen 23).

## Cadena

En la sección superior de las cadenas se observan desprendimientos del hormigón de recubrimiento, dándose esta patología en mayor medida en la cara que enfrenta al tránsito vehicular. En el arco 1 (ubicado sobre la localidad de Santo Tomé) estos desprendimientos se dan en mayor medida en la cadena sur (Imagen 24). Según la evaluación de recubrimiento que se realizó, se detectó que en dicha cara los espesores de recubrimiento son menores que en las restantes, por lo que sumado al salpicado de agua por el continuo tránsito vehicular se produjo un deterioro acelerado. La mayoría de estos desprendimientos se encuentran mal reparados, con fisuraciones y desprendimientos en dichas reparaciones.

En la mayoría de los encuentros de las cadenas con los arranques se observa corrosión en los estribos de las armaduras debido a que los espesores de recubrimiento en esta zona son muy pequeños o inexistentes. Algunas de estas patologías se encuentran parcialmente o mal reparadas (Imagen 25).





**Imagen 23.** Péndola, encuentro con arco: fisuración y reparación mal efectuada.



**Imagen 24.** Arco 1, cadena sur: múltiples reparaciones por desprendimiento de Hº de recubrimiento.



**Imagen 25.** Cadena, encuentro con arranque del arco.

### Carpeta de Rodamiento, Juntas, y Desagües

Por el gran deterioro de la carpeta de rodamiento de hormigón original se colocó sobre ella una carpeta asfáltica a finales de la década del 70 y actualmente presenta un buen aspecto en términos generales; de esta manera se incorporó una sobrecarga permanente que no estaba prevista en el diseño. El mayor problema aquí se presenta en las juntas, donde por falta de mantenimiento se encuentran mal selladas y con fisuras (Imagen 26). Las juntas de las veredas, en la mayoría de los casos, no se encuentran selladas, y aquellas que cuentan con algún tipo de sello se encuentran en muy mal estado (Imagen 27).



**Imagen 26.** Junta deteriorada en la carpeta de rodamiento.



**Imagen 27.** Junta deteriorada en veredas en voladizo.



**Imagen 28.** Carpeta de rodamiento. Desagüe obstruido.

Un gran número de las bocas de desagüe se encuentran tapadas sin poder cumplir su función (Imagen 28). Sin embargo, un punto a destacar aquí, es que aquellos desagües pluviales que se encuentran en funcionamiento tienen una prolongación de su caño de descarga, alejándose de esta forma de la estructura del puente; de esta manera, estos puntos que son críticos, por lo general, en las estructuras de puentes, por una mala ejecución, se encuentran en muy buen estado de conservación (Imagen 29).

### Tableros

Los tableros en general se encuentran en muy buen estado. No se detectan fisuras ni ningún otro tipo de deterioro, exceptuando casos muy puntuales. Pero aquí cabe realizar



una salvedad, los bordes inferiores de las veredas en voladizo se encuentran con desprendimientos de recubrimiento y presencia de corrosión en las armaduras con menor recubrimiento (Imagen 30). Así mismo se observó este tipo de deterioro en las juntas de los tableros debido al mal sellado de las mismas permitiendo el escurrimiento de las aguas de lluvia a través de éstas (Imagen 31).



**Imagen 29.** Prolongación del caño de desagüe pluvial.



**Imagen 30.** Escurrimiento de las aguas de lluvia por las vigas laterales de las veredas.



**Imagen 31.** Filtración de agua por junta en articulación móvil en viga Gerber.

### Apoyos de Vigas Gerber

Las vigas Gerber presentan un apoyo móvil (Imagen 31) y otro fijo (Imagen 32). Todos los apoyos fijos presentan una rotura en mayor o menor medida por lo que hubo que repararlos mediante un anclaje suplementario, estas roturas comenzaron a detectarse a principios de la década del 80 y su reparación se produjo a mediados de los 90. En coincidencia con estos apoyos se encuentran las juntas de la capeta de rodamiento y debido a su mal sellado son sectores de continuo ingreso de agua de lluvia, siendo éste uno de los factores principales de deterioro de los apoyos (Imagen 32).



**Imagen 32.** Anclaje suplementario por rotura en apoyo fijo de viga Gerber.



En coincidencia con las vigas principales de los tramos Gerber, que apoyan sobre los pilares, existen juntas en las veredas en voladizo que debido a su mal sellado permiten el escurrimiento de aguas de lluvia provocando deterioros sobre éstas y los pilares, como son la corrosión de las barras de las armaduras por falta de recubrimiento (Imagen 33).

## Pilares

Los pilares se encuentran en buen estado, detectándose algunas barras corroídas en su zona inferior. Se observa además en estas zonas, erosión de la pasta de cemento debido a las continuas crecidas del río (Imagen 33). No se observan deterioros particulares en aquellos pilares que se encuentran articulados.



**Imagen 33.** Filtración de agua por juntas en vereda en voladizo. Deterioro de la viga principal.

## Estribos

El estibo que se evaluó fue el correspondiente a la margen "santotomesina". Debido a las continuas crecidas del río Salado y la creciente extraordinaria registrada en el 2003, esta margen se vio muy afectada, produciéndose socavaciones acompañadas de desplazamientos que provocaron enormes grietas (Imagen 34). Por tal motivo en el año 2007 se procedió a reforzar este estibo mediante una viga de encadenado para evitar futuros desplazamientos y un recubrimiento con malla geotextil con dados de hormigón para evitar socavaciones en la costa (Imagen 35).



**Imagen 34.** Estribo: margen "santotomesina". **Imagen 35.** Refuerzo en la margen "santotomesina".

## RELACIÓN CON EVALUACIONES ESTRUCTURALES E INVESTIGACIÓN

Según evaluaciones realizadas en el CECOVI en múltiples estructuras, entre los años 1995 y 2005, se detecta que un 28,2% de éstas se encuentran afectadas por corrosión de armaduras; de las cuales el 35% se deben a la despasivación de las armaduras de acero por efecto de la carbonatación y un 55% es debido a la carbonatación y presencia de humedad excesiva en el hormigón [12]. En este mismo trabajo, dejando aparte aquellas estructuras que fueron inspeccionadas durante su construcción o dentro del primer año de construidas, se observa que el 76% de las estructuras restantes corresponden a construcciones de menos de 30 años, contrariamente a lo que se esperaría si se considera que en los últimos 25 años se ha producido una incorporación masiva de nuevas herramientas tecnológicas (aditivos, adiciones, líquidos formadores de membranas de

curado, etc.). Las edades de las estructuras evaluadas van desde su construcción hasta los 80 años de antigüedad.

En este aspecto, según un trabajo de investigación realizado por este mismo centro [13], en el que se expusieron probetas de hormigón en diferentes puntos de la ciudad de Santa Fe durante un período de 3 años, constituidas por hormigón convencional de diferentes calidades (Tabla 2), se obtuvieron avances del frente de carbonatación del orden de 0,3 cm a 1,0 cm, siendo menor el avance para el hormigón de menor relación a/c, sin producirse una variación significativa en la velocidad del avance de este frente con respecto a los diferentes puntos de exposición.

**Tabla 3.** Características de los H° expuestos en trabajo de investigación.

| Tipo de Hormigón                   |         | A    | B    |
|------------------------------------|---------|------|------|
| Relación a/c                       |         | 0,45 | 0,65 |
| Resistencia a la Compresión (Mpa)  | 7 días  | 30   | 16,4 |
|                                    | 28 días | 38,4 | 23,3 |
|                                    | 90 días | 40,3 | 26   |
| Absorción Total (%)                | 7 días  | 5,3  | 5,7  |
|                                    | 28 días | 5,1  | 5,9  |
|                                    | 90 días | 5,7  | 6,4  |
| Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> ) |         | 2304 | 2260 |

Si comparamos los resultados de los ensayos que caracterizan al hormigón de recubrimiento de las péndolas (Tabla 2) con el hormigón Tipo A utilizado en el trabajo de investigación mencionado (Tabla 3) vemos que la resistencia a la compresión estimada es un poco menor en el primer caso que en el segundo, al igual que la absorción total pero con una densidad seca un poco mayor; concluyéndose que estos hormigones tienen similares características, con la diferencia que el primer hormigón tiene 71 años de antigüedad y el segundo tan solo 3. Se suma a esto el hecho del que el primer hormigón con sus 71 años de

exposición no presenta carbonatación, mientras que el segundo, con tan solo 3 años presenta un avance del frente de carbonatación del orden de los 0,3 cm.

De idéntica forma, si observamos los resultados de las evaluaciones estructurales realizadas, veremos que la corrosión de las armaduras es uno de los principales motivos de deterioro y que la carbonatación es la mayor responsable de esta degradación. Sin embargo en la estructura del Puente Carretero no se observan signos de corrosión por avance del frente carbonatación; solo se detecta corrosión en aquellas barras que se encuentran sin el hormigón de recubrimiento.

## CONCLUSIONES

- En general la estructura se encuentra en muy buen estado presentando fisuras en los arranques de los arcos, que se atribuyen a algún tipo de falla en la estructura y no por deficiencia de los materiales. Lo mismo se concluye con los desprendimientos de hormigón de recubrimiento observados en las péndolas, en cuyos sectores se observa un avanzado nivel de corrosión en las armaduras descubiertas.
- Las patologías relevadas se deben en su mayoría a una falta de mantenimiento en su estructura, particularmente en las juntas, donde las filtraciones de agua de lluvia han provocado corrosión en las armaduras, debido al casi nulo recubrimiento en estos sectores, y desprendimientos del hormigón de recubrimiento en zonas puntuales.
- Pese a las continuas crecidas del río Salado el Puente no presenta deterioros que puedan ser atribuidos a estas agresiones naturales, con la excepción del estribo en la margen "santotomesina" que se vio afectado por socavaciones en la costa.
- Se registra una presencia prácticamente nula del avance del frente de carbonatación, y considerando que el ambiente de la zona se encuentra libre de cloruros,

la corrosión detectada en las barras de las armaduras se atribuye a un posible problema estructural que haya provocado el desprendimiento del hormigón de recubrimiento y su fisuración en sectores localizados, dejando las barras expuestas a la intemperie.

- No obstante se requieren evaluaciones más prolongadas y detalladas para tener una valoración precisa de su estado estructural y conocer en detalle el hormigón de esta estructura, ya que este Puente Carretero no solo es importante por el servicio que presta, sino que es todo un símbolo en la zona y marcó un hito en la ingeniería del país.

## AGRADECIMIENTOS

La concreción de este trabajo fue posible gracias al aporte de material recibido del Museo Histórico y Archivo Municipal "Andrés Atilio Roverano" de la ciudad de Santo Tomé; a los ingenieros Pablo Hillar y Guillermo Ferrando, docentes de la UTN – FRSF, y a la buena predisposición de la Dirección Nacional de Vialidad que permitió la realización de esta inspección sobre el Puente Carretero.

## REFERENCIAS

- [1] "Puente Carretero de Santo Tomé", [www.santotomeweb.com.ar](http://www.santotomeweb.com.ar)
- [2] Ing. CAZENEUVE A. E. "40 años de la habilitación del puente carretero a Santo Tomé". Diario El Litoral, Santa Fe, 10 de julio de 1979.
- [3] BERLUZZI LOSNO A. "JALON", número único editado con motivo de la inauguración del Puente Carretero a Santo Tomé. Santa Fe, agosto de 1939.
- [4] Dr. Ing. KINDEL E. "El nuevo puente sobre el Río Salado entre Santo Tomé y Santa Fe". Buenos Aires 1937 – 1939.
- [5] Ing. WAGNER. "En Agosto Finalizará la Construcción de Nuevo Puente Carretero". Diario El Orden, Santa Fe, 5 de enero de 1939.
- [6] Ing. SCHREIDER M. "Crecidas extraordinarias del río Salado". Jornadas –Inundación en Santa Fe: mirando hacia el futuro-, UNL.Santa Fe 10 de junio de 2003.
- [7] DOLDÁN S. A. "La catástrofe en Santa Fe". Simposio brasilero de desastres naturales. Florianópolis 2004, p. 819-833.
- [8] "La crecida extraordinaria del río Salado: causas que provocaron la inundación de la ciudad de Santa Fe", UNL. Lima, noviembre de 2003.
- [9] Reglamento CIRSOC 201, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Argentina, 2002 (en discusión pública).
- [10] "Proponen que el puente Carretero tenga tres carriles de circulación". Diario Uno, Santa Fe, 3 de mayo de 2010.
- [11] CARRASCO M. F., MIRETTI R., PASSERINO C., GREYER R. O. "Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el método combinado ultrasonido/esclerometría". CORENDE - Congreso Regional de Ensayos No Destructivos y Estructurales. Comisión Nacional de Energía Atómica - Universidad Tecnológica Nacional. Mendoza, octubre de 1997, pp. 139-152
- [12] SEGOVIA M. D., YORIS A. I., GUILARDUCCI A., DEFAGOT C. A., ULIBARRIE N. O. "Carbonatación de Estructuras de Hormigón Armado en la Región Centro-Este Argentina: Influencia de la Contaminación Ambiental Urbana". Revista Tecnología y Ciencia, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, noviembre 2009, pp. 11-23.
- [13] YORIS A. I., SEGOVIA M. D., CARRASCO M. F., BELBEY F., GUILARDUCCI A., DEFAGOT C. A., ULIBARRIE N. O., MARCIPAR A. "Carbonatación del Hormigón Armado: Influencia de la Contaminación Ambiental Urbana". Cinpar 2010, VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Tópico 1 (Patología de las Construcciones). Córdoba, junio de 2010.