

# EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE UN PUENTE METÁLICO

Ing. Civil José Aníbal Saracho <sup>a</sup>. (UNT). Tucumán. Argentina.

Ing. Civil José Rodolfo Barlek <sup>b</sup>. (UNT). Tucumán. Argentina.

Ing. Civil Oscar Dip <sup>c</sup>. (UNT). Tucumán. Argentina.

<sup>a</sup> Tesista del Magíster en Ingeniería Estructural (Instituto de Estructuras UNT), Profesor Adjunto de la Asignatura "Puentes". (UTN - Facultad Regional Tucumán).

<sup>b</sup> Magíster en Ingeniería Estructural. Profesor Asociado de la Asignatura Hormigón III, Ing. Civil (UNT). Director del Proyecto: "Evaluación y Rehabilitación de Puentes".

<sup>c</sup> Magíster en Ingeniería Estructural. Docente del Área Teoría de las Estructuras de la carrera de Ingeniería Civil. (UNT).

## RESUMEN

Se presentan los resultados de los trabajos de evaluación y propuesta de rehabilitación de un puente metálico construido en 1926, cuyo estado presenta patologías frecuentes en este tipo de estructuras, siendo la principal el estado de oxidación de sus nudos de reticulado. El puente tiene 372 mts de largo y está constituido por seis vanos iguales. Una reciente crecida causó el desplazamiento y rotación de una de sus pilas, lo que motivó el cierre transitorio del puente.

En una primera etapa, el trabajo consistió en relevar minuciosamente los daños. Esto se hizo conforme los lineamientos establecidos en el Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM) de la Federal Highway Administration (FHWA-2002). Esta primera etapa se complementó con tareas de introspección directa y extracción de testigos para indagar las propiedades mecánicas y estado de los materiales constitutivos. Seguidamente se realizaron pruebas de cargas en 2 tramos para calibrar un modelo computacional avanzado y con éste determinar la capacidad de carga última y máxima de servicio. A continuación, teniendo en cuenta las limitaciones del puente y los requerimientos actuales de usuarios, se elaboró una propuesta para su rehabilitación. En la etapa final se diseñaron y detallaron los refuerzos y obras anexas para la refuncionalización propuesta.

## ABSTRACT

*The results of the assessment and retrofitting proposal of a metal bridge built in 1926 are presented. This bridge shows pathologies that are common in this type of structures, particularly the oxidation of the joint's truss. The bridge is 372 mts long and it has six equal spans. A recent flood provoked displacement and rotation of one of its piles and the consequent temporary closing of the bridge.*

*At a first stage, a thorough study of the damage was done according to the standards of the Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM) of the Federal Highway Administration (FHWA-2002). Direct introspection tasks and sample collection were done in this first stage in order to know the mechanical properties and condition of the constitutive materials. Afterwards, loading tests were carried out in two sections in order to calibrate an advanced computational model and thus determine the last and maximum loading capacity in service. Then, a retrofitting proposal was done according to the limitations and present requirements. At the final stage, the necessary reinforcement was designed and presented.*

## INTRODUCCIÓN

El puente se encuentra localizado en la provincia de Tucumán, a 27° 19' 55" de Latitud Sur y 65° 34' 59" de Longitud Oeste; sobre la antigua traza de la Ruta Nacional N° 38 (progresiva Km 739,6), sobre el río Gastona. Vincula principalmente la ciudad de Concepción con barrios periféricos situados sobre la margen Norte del mencionado río (ver FIG 1).

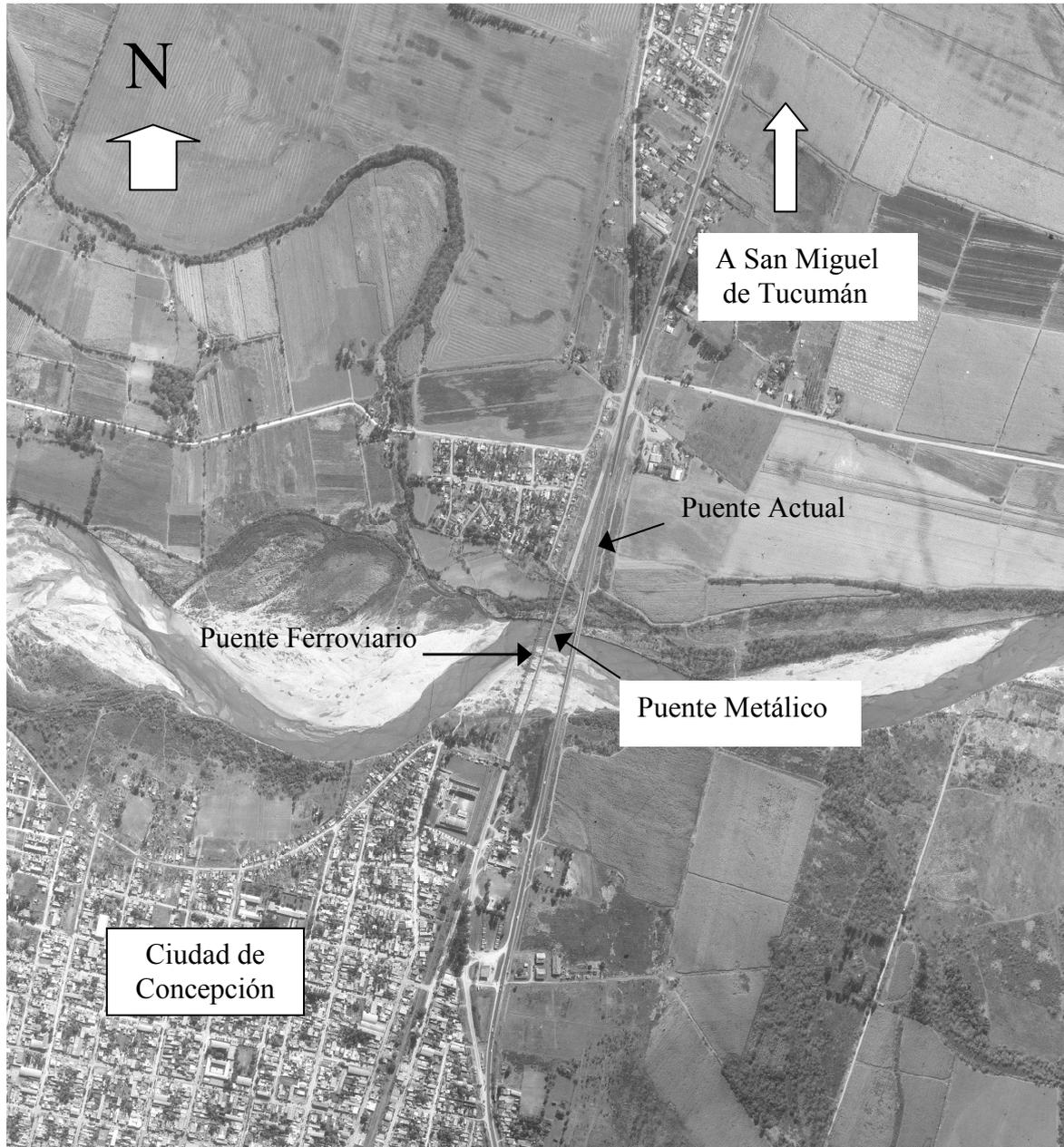


FIG. 1 - UBICACION

Se aprecia que el puente en cuestión se sitúa entre un puente ferroviario emplazado hacia el Oeste (aguas arriba) y un puente carretero nuevo hacia el Este, con los cuales interactúa dada la escasa distancia entre ellos.

En Enero de 2007, una crecida de importancia arrastró un tramo del puente ferroviario situado aguas arriba empujándolo sobre una de las pilas del puente en

cuestión. Este hecho generó, además de desplazamientos y rotaciones en la pila impactada, daños en los tramos concurrentes a la misma; lo cual determinó la puesta fuera de servicio del puente. El incidente motivó la realización de inspecciones a cargo de diferentes equipos técnicos, de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) y de la Dirección Provincial de Vialidad de Tucumán (DPV), los cuales además de relevar los daños causados por la riada, identificaron otras patologías de importancia, concluyendo sobre la necesidad de llevar a cabo una evaluación minuciosa de su estado general y el proyecto para su reparación y rehabilitación en caso que esto fuera decidido. Con tal fin, se celebró un convenio entre la Dirección Nacional de Vialidad y el Instituto de Estructuras de la UNT, por el cual este Instituto inició los trabajos técnicos recabados por la DNV y cuyos resultados<sup>1</sup> se exponen brevemente en lo que sigue.

## **DESCRIPCIÓN**

Se trata de un puente metálico compuesto de seis (6) tramos isostáticos similares que salvan vanos de 62,25 metros de luz. En FIG 2 se ilustra la superestructura, sus componentes y vinculaciones. Se destaca que todas las uniones entre elementos se realizaron con roblones de 22,5 mm de diámetro. El tablero es de tipo mixto, posee una calzada de 5.20 m de ancho y carece de veredas para la circulación peatonal.

La subestructura esta compuesta de apoyos metálicos fijos y móviles que transfieren cargas hacia pilas y estribos construidos de mampostería de ladrillos. Los muros de ala de los estribos son de mampostería de 45 cm de espesor y no se observan losas de talud ni otros tipos de protecciones de los estribos (ver FIG 3). Las fundaciones consisten en cilindros de mampostería cuyo número y dimensiones se muestran en la misma figura.

Por referencias se conoce que sobre el puente no se realizan tareas de mantenimiento desde hace ya tres (3) décadas. Salvo la limpieza de los apoyos y desagües, en general el puente aparenta no haber sido intervenido por ningún motivo posterior a su construcción.

A los efectos de ponderar sus prestaciones y la relación costos-beneficios en caso de su rehabilitación, cabe destacar que el ancho de calzada del puente es de 5,20 mts, lo cual resulta insuficiente para la circulación vehicular en ambos sentidos del tráfico. Asimismo, pese al gran número de personas que circulan por el puente, se aprecia que éste no dispone de veredas ni defensas para seguridad de las mismas.

## **PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN**

La Inspección se llevó a cabo en 5 etapas:

Debido a la falta de antecedentes técnicos sobre esta obra, en la primera etapa se realizó un relevamiento geométrico de todas las partes del puente y sus zonas de influencia.

En la siguiente etapa se efectuaron las tareas de nivelación y alineación del tablero a través de tres perfiles longitudinales y transversales, por tramo del puente. Los resultados obtenidos permitieron establecer con precisión los desplazamientos y rotaciones que debían corregirse.

La tercera etapa consistió en el relevamiento de las patologías de cada elemento del puente. El procedimiento empleado en el relevamiento de patologías consistió en dividir el puente en sus diferentes componentes, es decir: tablero, superestructura,

subestructura, y obras complementarias. Cada uno de estos componentes fue dividido a su vez en sus elementos constitutivos, los cuales fueron inspeccionados uno a uno para detectar la presencia de las patologías, sus dimensiones, ubicaciones y otras observaciones sobre las mismas, que se volcaron en Planillas de Inspección como las que muestran en FIG. 4.

En función de la severidad de las patologías observadas, se dio una calificación a cada elemento, resultando como: buena (condición aceptable), regular (deterioros menores que no afectan la capacidad estructural) o mala (la capacidad estructural se ve comprometida por las deficiencias del elemento).

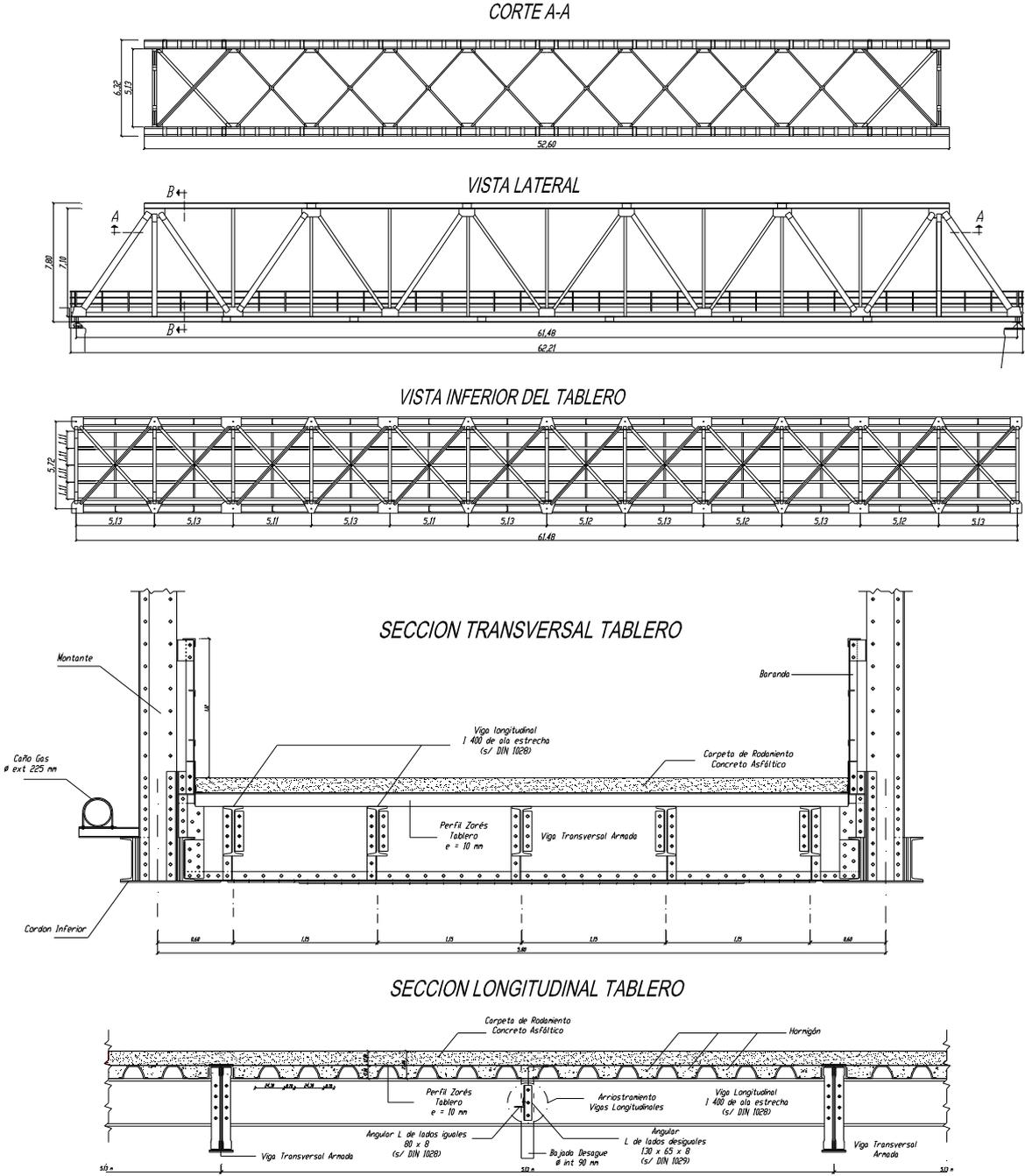


FIG. 2 - SUPERESTRUCTURA

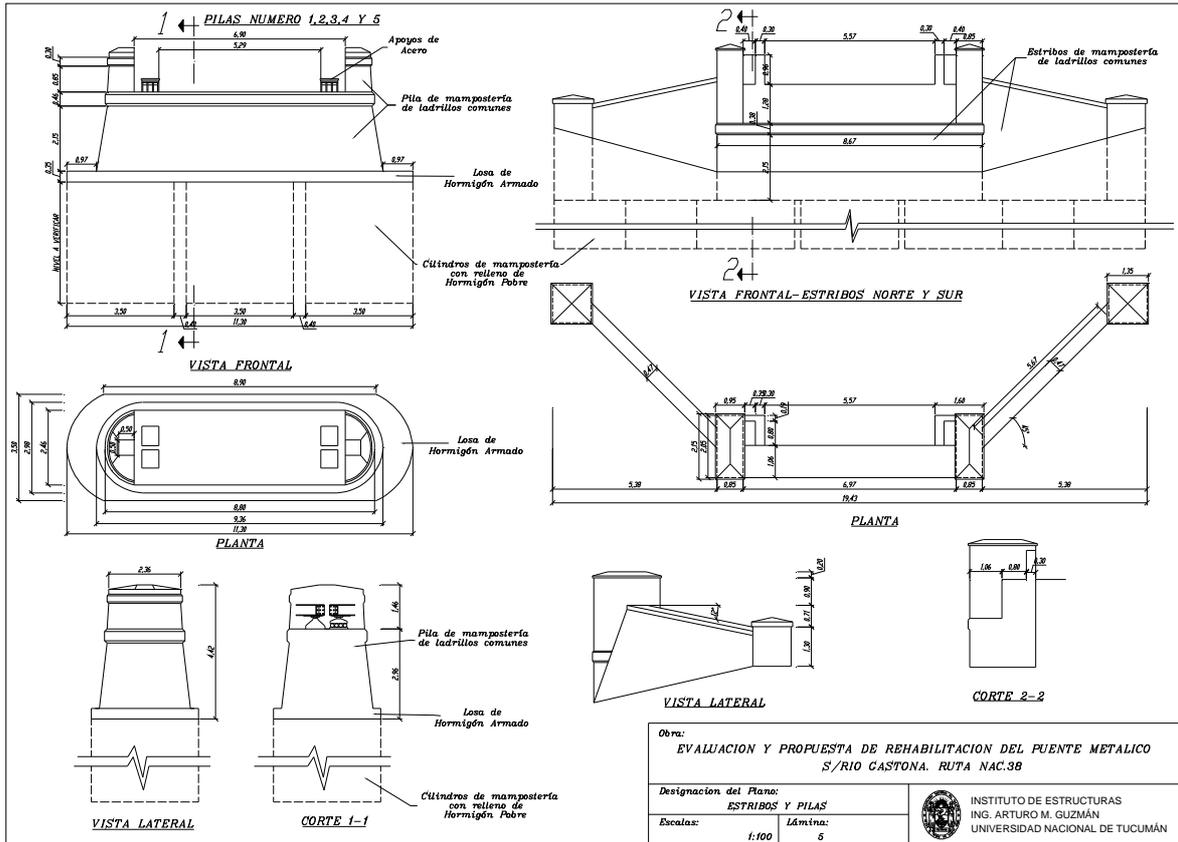


FIG. 3 – SUBESTRUCTURA

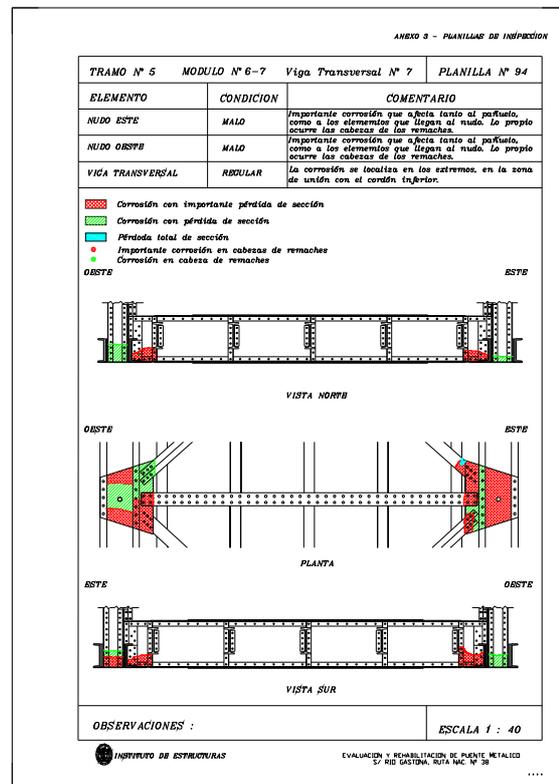
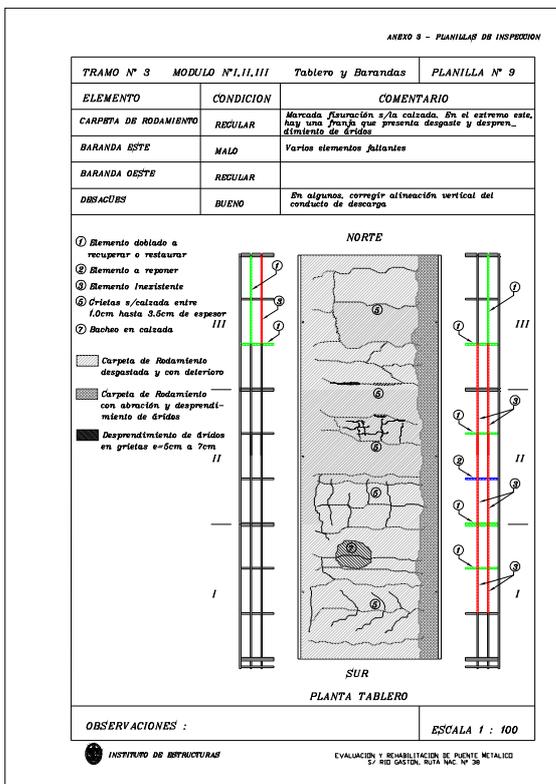


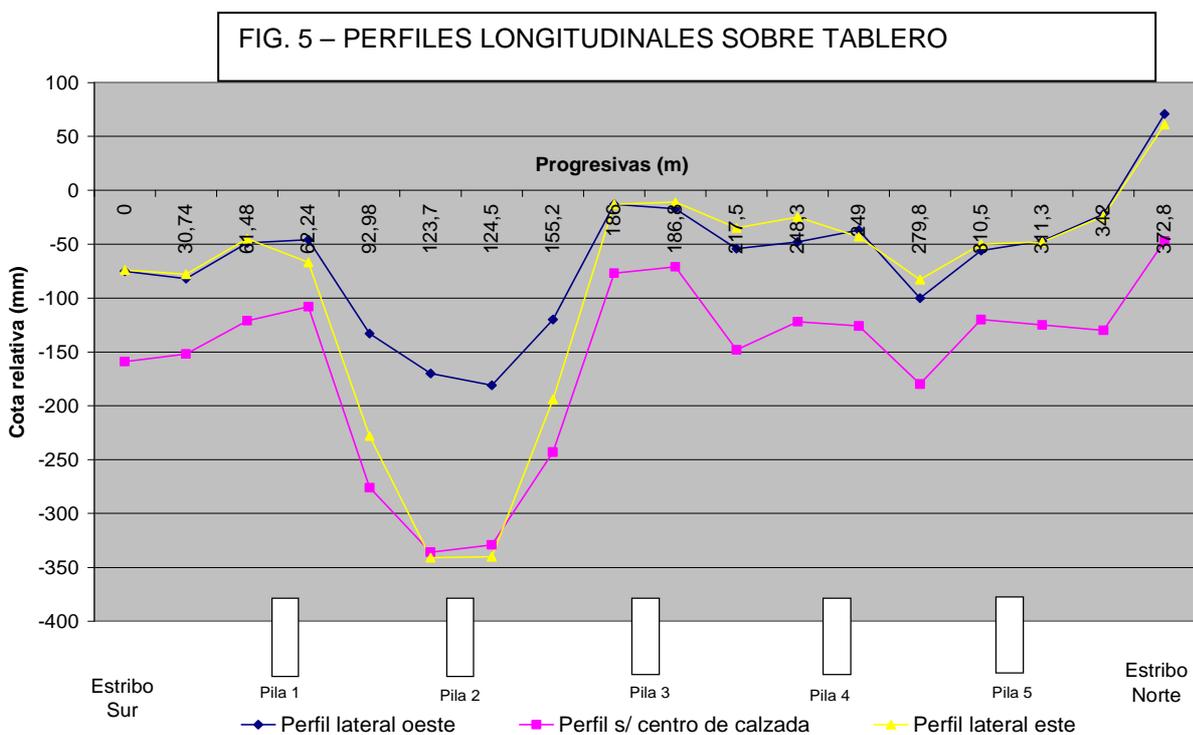
FIG. 4 – PLANILLAS DE INSPECCIÓN (TABLERO Y NUDO TIPO)

## RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

### Nivelación del Tablero

En FIG. 5 se observan tres (3) perfiles longitudinales, el inferior correspondiente al centro de la calzada, y los dos restantes que corresponden a los laterales del tablero. Nótese que hacia los tramos 2 y 3, es decir en correspondencia con la pila 2 (dañada), la nivelación muestra descensos del tablero respecto de los tramos restantes. Tales descensos son el resultado del desplazamiento y giro de la pila 2. El descenso de los tramos 2 y 3 se manifiesta con diferencias de altura de 145 mm en el lateral de aguas arriba y de 300 mm en el lateral de aguas abajo. Estos valores reflejan el giro de la pila en su plano, el cual medido con clinómetro digital arrojó un valor de 1,9°.

En los tramos que no concurren a la pila 2, es decir los tramos 1, 4, 5 y 6 se pudo constatar que la flecha en el centro del tramo (actuando peso propio únicamente) oscila entre los 20 y 50 mm.



## Relevamiento de Patologías

De lo visto y evaluado pueden identificarse diferentes tipos de daños, como sigue:

- Daños debidos a impactos de vehículos tanto sobre los accesos (muros de coronamiento y defensas) como sobre la superestructura reticulada.
- Daños debidos a procesos de degradación relacionados con el tiempo y el ambiente, como ser: a) En superestructura: corrosión de elementos metálicos y sus uniones; b) En estribos: grietas y marcado deterioro de los materiales tanto de mampuestos como de juntas; c) En fundaciones: alteración de los materiales de relleno de los cilindros de fundación y degradación de la parte superior de los mismos, por descenso de la cota de erosión.
- Daños causados por la crecida y sus consecuencias: desplazamiento y giro de la Pila 2 y deformaciones horizontales y verticales en los tramos 2 y 3 que concurren a la pila. El tramo 5 también se muestra fuera de alineación, pero sus deformaciones son de menor importancia.
- Deterioros producidos por falta de mantenimiento: en apoyos, calzada y barandas.

Las fotos mostradas en las FIGS. 6 y 7 ilustran algunos de los daños observados y relevados en las planillas antes mencionadas.



FIG. 6 – DAÑOS OBSERVADOS Y RELEVADOS



FIG. 7 – DAÑOS OBSERVADOS Y RELEVADOS

## COMPORTAMIENTO BAJO CARGAS

Con el propósito de indagar el comportamiento del puente ante cargas gravitatorias, se procedió a efectuar pruebas de cargas sobre dos (2) de sus tramos. En ambos ensayos se midieron flechas en centro y cuartos de la luz. En forma complementaria se midieron deformaciones específicas con Strain Gauges en ambos cordones inferiores, un (1) montante y una (1) diagonal traccionada.



FIG. 8 – ENSAYO DE CARGA

Las cargas se ingresaron generando cinco (5) estados de cargas diferentes (ver FIG. 8). La carga máxima aplicada fue de 1132,5 kN, que corresponde a ~70% de la sobrecarga de servicio de un puente categoría A-20 (1643kN).

En ambos tramos se pudo observar un comportamiento estable incluso para la máxima sobrecarga aplicada. Para este último estado, la sobrecarga se mantuvo durante 15 minutos, sin que se observaran crecimientos en las deformaciones.

En FIG. 9 se presentan los resultados en términos de relaciones entre los Momentos flectores máximos provocados por los diferentes estados de sobrecargas vs. el promedio de flechas medidas en los centros de los tramos. En las mismas se observa que ambos tramos exhiben un comportamiento marcadamente lineal hasta el penúltimo estado de carga, luego del cual se observa un ligero cambio de rigidez.

Las flechas máximas medidas para los tramos 4 y 5 fueron de 11,0 mm y 15,8 mm respectivamente; en tanto que las remanentes fueron de 2,4 mm y 3,4 mm. La diferencia de comportamiento observada se debe probablemente a las patologías que afectan al tramo 5.

Tal como se esperaba no se produjeron deformaciones en los apoyos ni en las pilas.

## ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS INSTROSPECCIÓN DIRECTA

Se extrajeron testigos del tablero del puente para obtener información sobre espesores de carpeta de rodamiento y hormigón de tablero. Lo mismo se hizo en las zonas de accesos, determinándose por esta vía la ausencia de losas de aproximación. Finalmente se extrajeron testigos de la pila dañada y sus cilindros de fundación. En todos los casos se determinaron espesores y estado de conservación de los materiales constitutivos (FIG. 10).

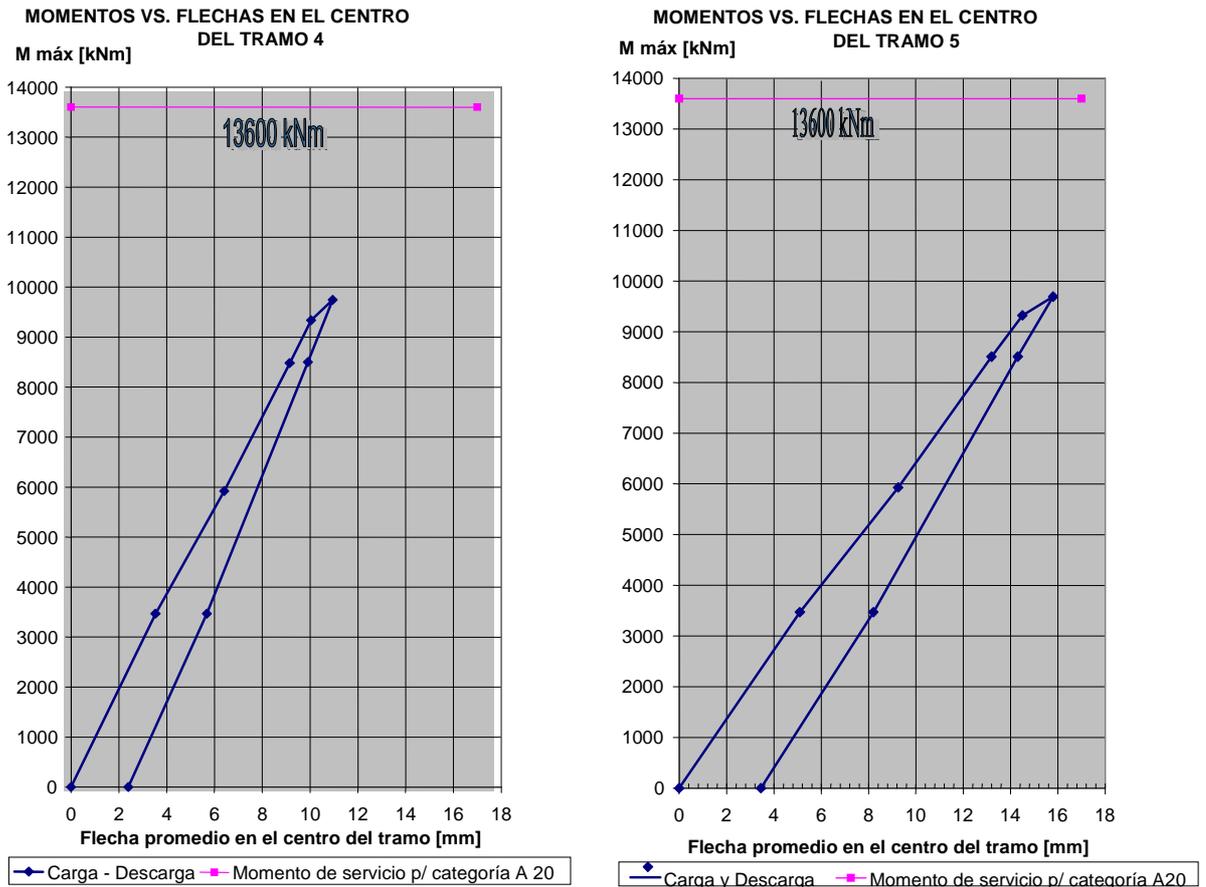


FIG. 9 – DIAGRAMAS MOMENTOS - FLECHAS



FIG. 10 – INTROSPECCION DIRECTA

## MODELO COMPUTACIONAL

El análisis del comportamiento del puente sometido a cargas de código<sup>2,3,4</sup> se realizó a través de técnicas numéricas utilizando el programa SAP 2000. El modelo desarrollado se calibró con los resultados obtenidos de las pruebas de cargas.

Los tramos bajo cargas correspondientes a un categoría A20, tienen para cargas gravitatorias únicamente, un factor de seguridad  $S= 1,9$ ; mientras que, para la combinación mas desfavorable de acciones resulta  $S= 1,2$ . Estos resultados corresponden al análisis efectuado en el trabajo publicado por separado<sup>5</sup>.

## CARACTERISTICAS DEL CAUCE

Se efectuó una planialtimetría de la zona del cauce en las inmediaciones de la obra, determinándose así pendientes y alturas del cauce en la zona del puente y hasta 300 m aguas arriba y abajo del mismo.

Con el objeto de verificar si la altura del puente es compatible con caudales de crecidas, tanto ordinarias como extraordinarias, se procedió a relacionar alturas libres con caudales en una curva de descarga para la sección de emplazamiento. Asimismo se efectuó un detallado relevamiento de las defensas aguas arriba del puente, determinándose que las mismas se encuentran por debajo de la cota necesaria e interrumpidas por partes. Mas detalles sobre estos estudios pueden consultarse en el informe generado<sup>1</sup>.

## ACCESOS

Los accesos fueron relevados y establecidas las necesidades para mejorar su seguridad y funcionalidad.

## REHABILITACIÓN

En base a los estudios previos concernientes al estado de los elementos estructurales del puente, considerando su satisfactoria respuesta estructural bajo cargas de hasta el 70% de las de servicio para un categoría A20 y los resultados de los estudios numérico computacionales, se consideró que la rehabilitación funcional, estética y estructural del puente del puente es técnicamente viable.

Las tareas a ejecutar para lograr la recuperación de esta obra se pueden agrupar según el componente del puente al cual pertenezcan los elementos a ser intervenidos; como sigue:

### En Infraestructura.

- \* Demoler y reemplazar la actual pila 2 y sus fundaciones.
- \* Proteger las pilas 1, 3, 4 y 5 contra la erosión de sus fundaciones.
- \* Demoler y reemplazar los muros de ala del estribo Norte.
- \* Demoler y reconstruir los muros de pantalla de ambos estribos.
- \* Pintar la subestructura.

### En Superestructura.

- \* Re-posicionar los tramos 2 y 3. Enderezar/reemplazar los elementos de reticulados.
- \* Enderezar montantes y diagonales deformadas por impactos.
- \* Reforzar/reparar zonas oxidadas de nudos inferiores de reticulados.
- \* Retirar los apoyos metálicos y reemplazarlos por apoyos de neopreno.
- \* Enderezar arrostamientos inferiores y superiores en tramo 5.

### En Tablero.

- \* Retirar el conducto de gas.

- \* Retirar calzada de rodamiento.
- \* Colocar juntas de tableros.
- \* Limpiar y proteger la estructura de fondos de tableros.
- \* Reparar y proteger el hormigón de fondo de tablero.
- \* Reparar los desagües del tablero.
- \* Demoler y reemplazar los muros de coronamiento de accesos.
- \* Demoler y reemplazar los muros de H<sup>o</sup> de defensas de accesos.
- \* Reparar barandas.
- \* Construcción de calzada de rodamiento.
- \* Colocar señalizaciones en accesos y demarcaciones en calzada.
- \* Pintar la superestructura.
- \* Construir una pasarela peatonal vinculada a la estructura del puente.

#### **Trabajos Generales.**

- \* Limpieza General.
- \* Construir defensas de estribos de la margen Sur que interconecten los tres puentes, a través de diques encauzadores.
- \* Retirar los tramos 1 y 2 del puente ferroviario.

#### **Accesos.**

- \* Nivelar y estabilizar las banquetas.
- \* Repavimentar los accesos.
- \* Colocar defensas.

En lo que sigue se comentan e ilustran algunos de los resultados concernientes al proyecto de rehabilitación, en particular los ítems relacionados con subsanar daños que afectan la sobrevida del puente o partes del mismo (intervenciones urgentes) y otros que hacen al rediseño de circulación.

#### Demolición y Reemplazo de la Pila 2 y sus Fundaciones:

Tiene por objeto retirar la pila dañada y sus fundaciones y reemplazarlas por una fundación compuesta de pilotes, cabezales, vigas, losa de fundación y pila, todo de hormigón armado pero con geometría similar a las de las restantes pilas de mampostería. Para la demolición de la pila hará necesario sustentar los tramos concurrentes con estructuras de apuntalamiento transitorias, para posteriormente demoler y reconstruir según los detalles que se muestran en FIGS. 11 a 14. Seguidamente, se procederá a descender los tramos sobre la nueva pila y, siempre sobre ésta, a desplazarlos hasta su posición correcta.

#### Reforzar/ reparar zonas oxidadas de nudos inferiores de reticulados:

La tarea tiene por objeto restablecer la resistencia de zonas debilitadas por el proceso de oxidación. En particular las uniones inferiores de los reticulados, los extremos de miembros concurrentes y el reemplazo de pañuelos. En base al minucioso relevamiento efectuado, se pudo identificar cada remache dañado, por lo que una tarea consistirá en retirar y reemplazar esos conectores de las filas inferiores de las uniones: cartelas-cordón inferior, como se muestra en FIG. 15. En la misma figura se muestran los refuerzos a colocar en el alma de las vigas transversales y los reemplazos de extremos en diagonales de arriostramiento.

Los remaches deben ser de acero SAE 1020 (F-24), fabricados con cabeza. Su fijación a la estructura se efectuará mediante repujado en caliente de la cabeza opuesta. En aquellos lugares que por razones de espacio sea inconveniente efectuar

el remachado, se aconsejó el reemplazo por tornillos de alta resistencia, con torque no inferior a 120 N.m. Para impedir que las tuercas se aflojen se procederá a inmovilizarlas mediante puntos de soldadura.

#### Reconstrucción de juntas

El retiro total de la carpeta de rodamiento pondrá a la vista las juntas entre tableros. Los guarda cantos de las nuevas juntas estarán a nivel de la nueva rasante. La solución constructiva adoptada para estas juntas se muestra en FIG. 16.

#### Reemplazo de apoyos existentes

Asimismo se propuso reemplazar los apoyos metálicos, que requieren de tareas periódicas de mantenimiento, por apoyos de neopreno cuya operatividad no se verá afectada por agua, polvo y otros residuos provenientes de crecidas, etc. La FIG. 17 muestra detalles del rediseño de los apoyos que surgen de considerar las cargas de código<sup>3</sup>, incluidas las sísmicas, viento y frenado.

#### Construcción de pasarela peatonal

Tiene por objeto adicionar al puente una zona de circulación exclusiva para peatones. A los efectos de armonizar con la arquitectura original, la pasarela se construirá con perfiles metálicos y losetas de hormigón armado con las dimensiones y especificaciones indicadas en FIGS. 18 a 20.

#### Construcción de defensas de estribos de la margen Sur

Tienen por objeto evitar que la corriente de agua socave los estribos de la margen Sur de los puentes. Para que estas defensas sean efectivas, deben presentar un trazado definido por la línea de unión de estribos y vincularse aguas arriba al mismo nivel y alineación que presentan las defensas existentes (FIG. 21)

Puesto que el ancho de tablero disponible (5.20 m) permite contar tan solo con una sola faja de circulación, se dispuso la adopción de un carril central con dos ciclovías laterales (ver FIG. 22).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el puente puede soportar cargas gravitatorias equivalentes a un categoría A-20 con un grado de seguridad aceptable. Sin embargo, por restricciones debidas principalmente al ancho del puente, el cruce se limitará como máximo a vehículos de carga de hasta dos ejes y a colectivos de transporte interurbano de pasajeros.

### **CONCLUSIONES**

La programación y realización conjunta de tareas de relevamiento, inspección, introspección directa y ensayos de carga, conjuntamente con tareas de gabinete tales como la modelación computacional, permitieron reducir tiempos y contar con gran cantidad de información precisa que resultó imprescindible para la evaluación y elaboración del proyecto de reparación/rehabilitación de este puente. Las mencionadas tareas en la actualidad forman parte indispensable de una metodología integral de evaluación de puentes<sup>6</sup>. Asimismo cabe destacar el procedimiento seguido en la inspección de patologías (ver FIGS. 5 y 6), que estuvo basado en los lineamientos establecidos en el Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM) de la Federal Highway Administration (FHWA-2002).

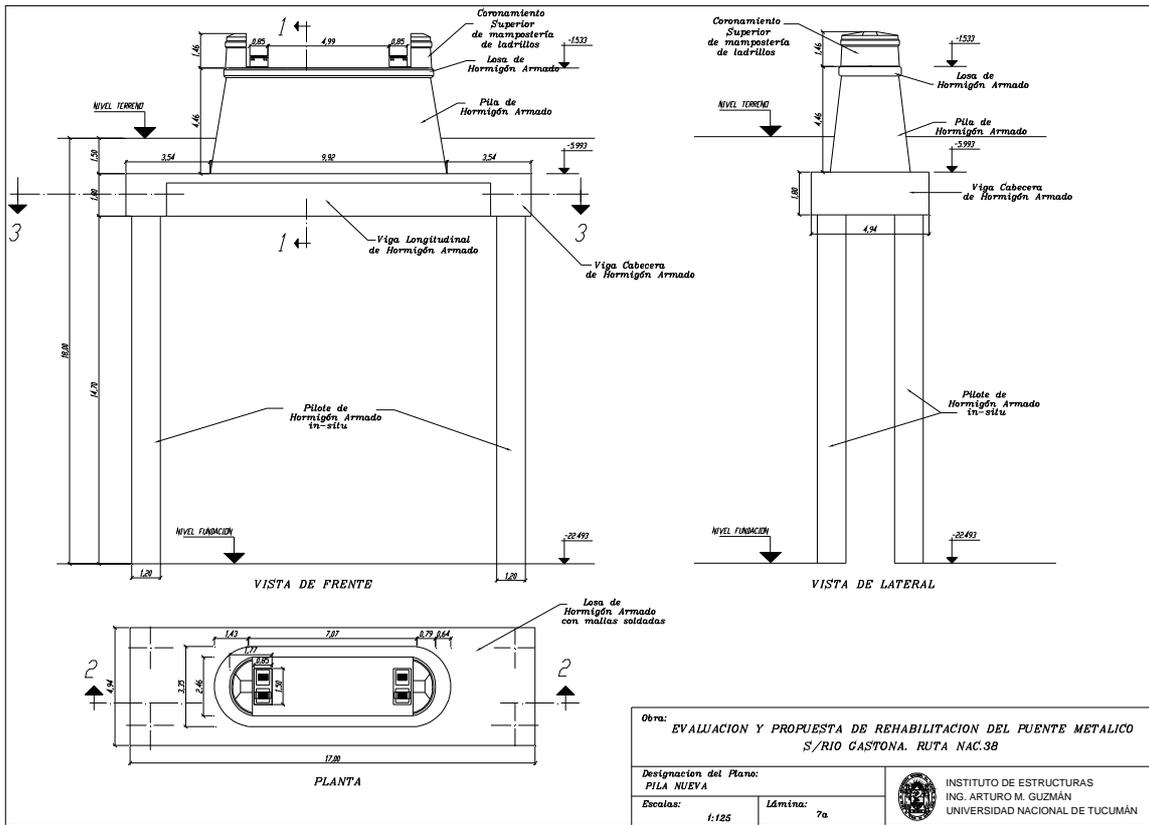


FIG. 11

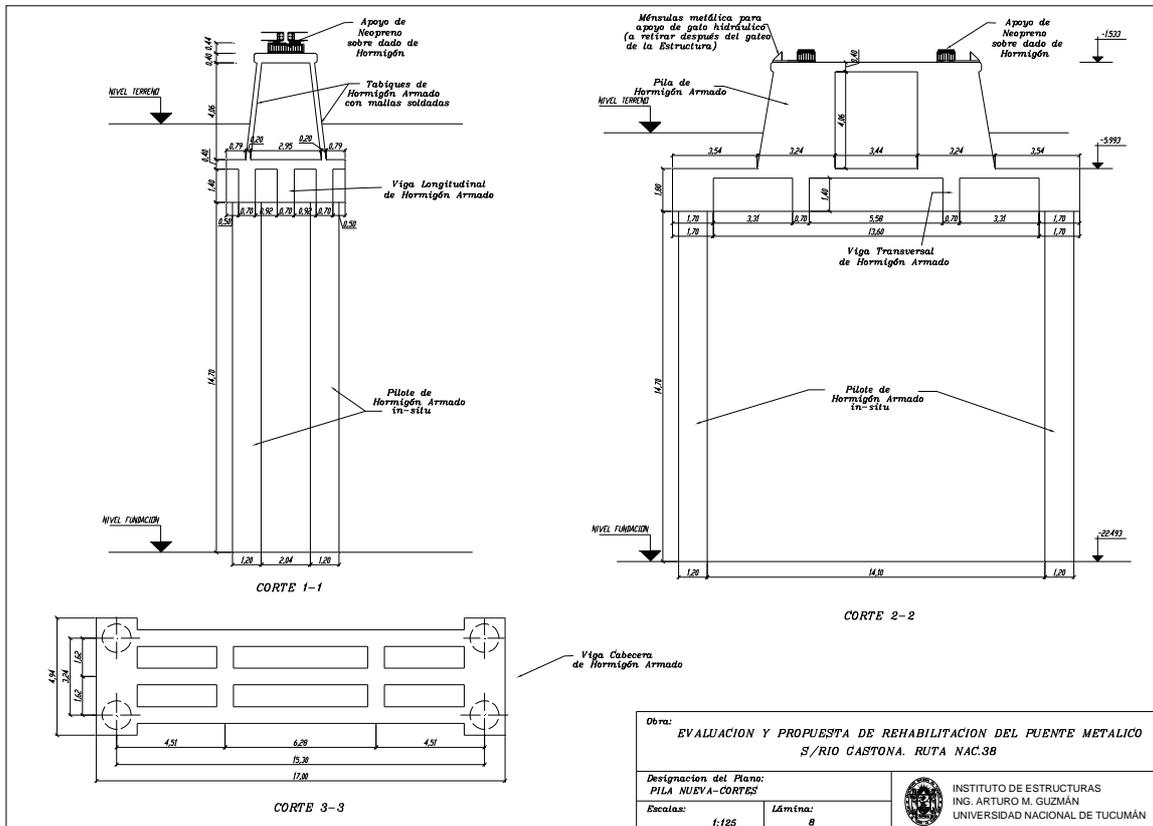


FIG. 12

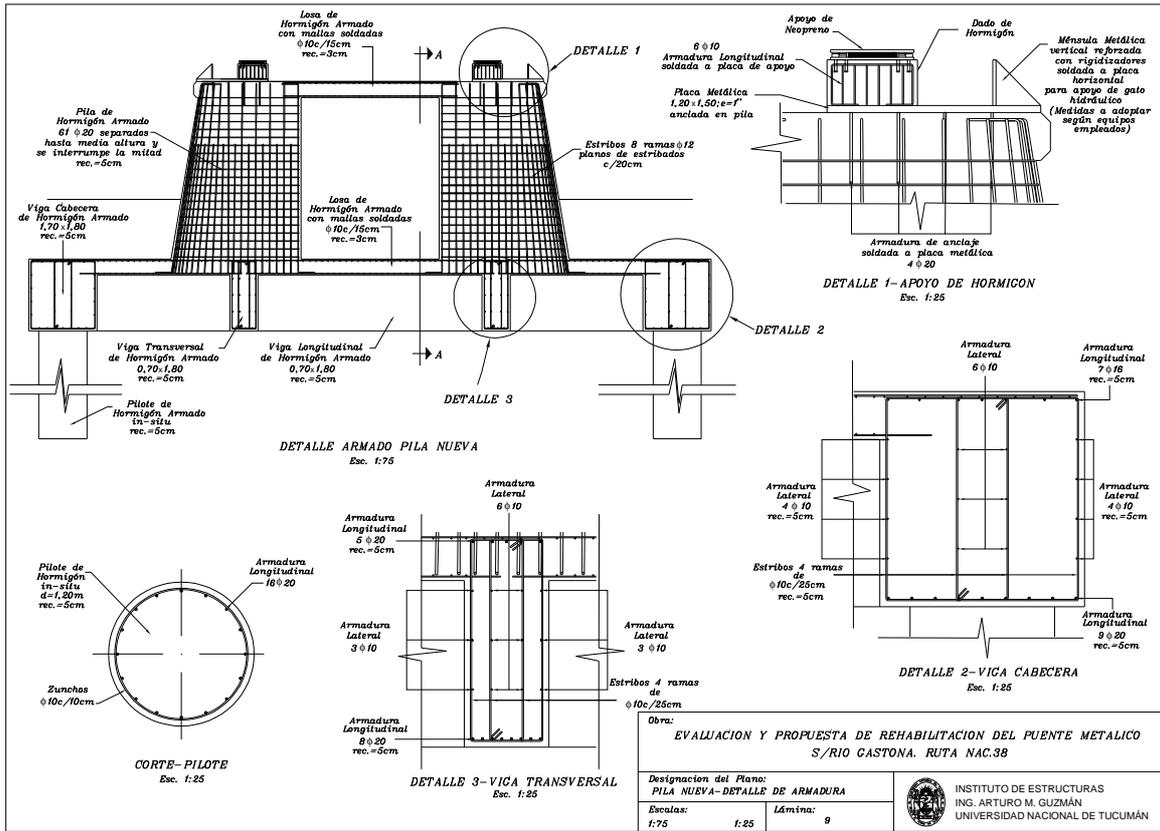


FIG. 13

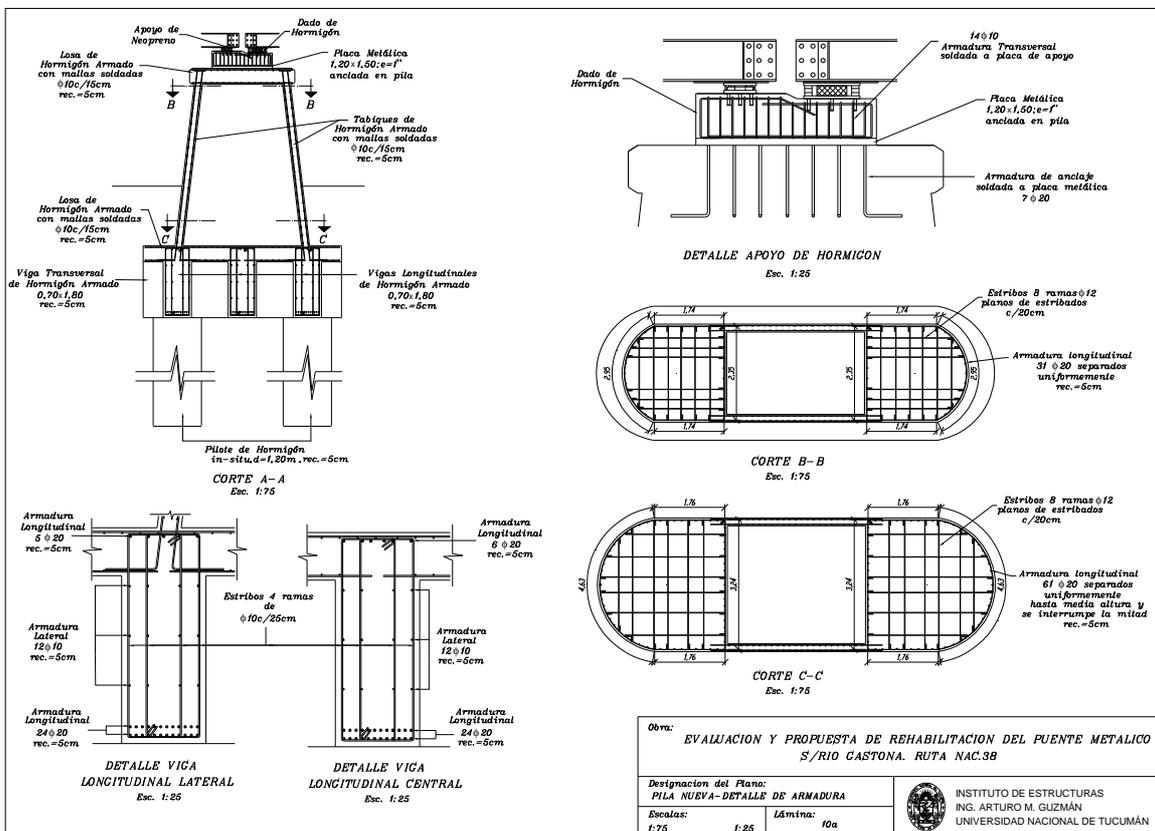


FIG. 14 – RECONSTRUCCION DE LA PILA

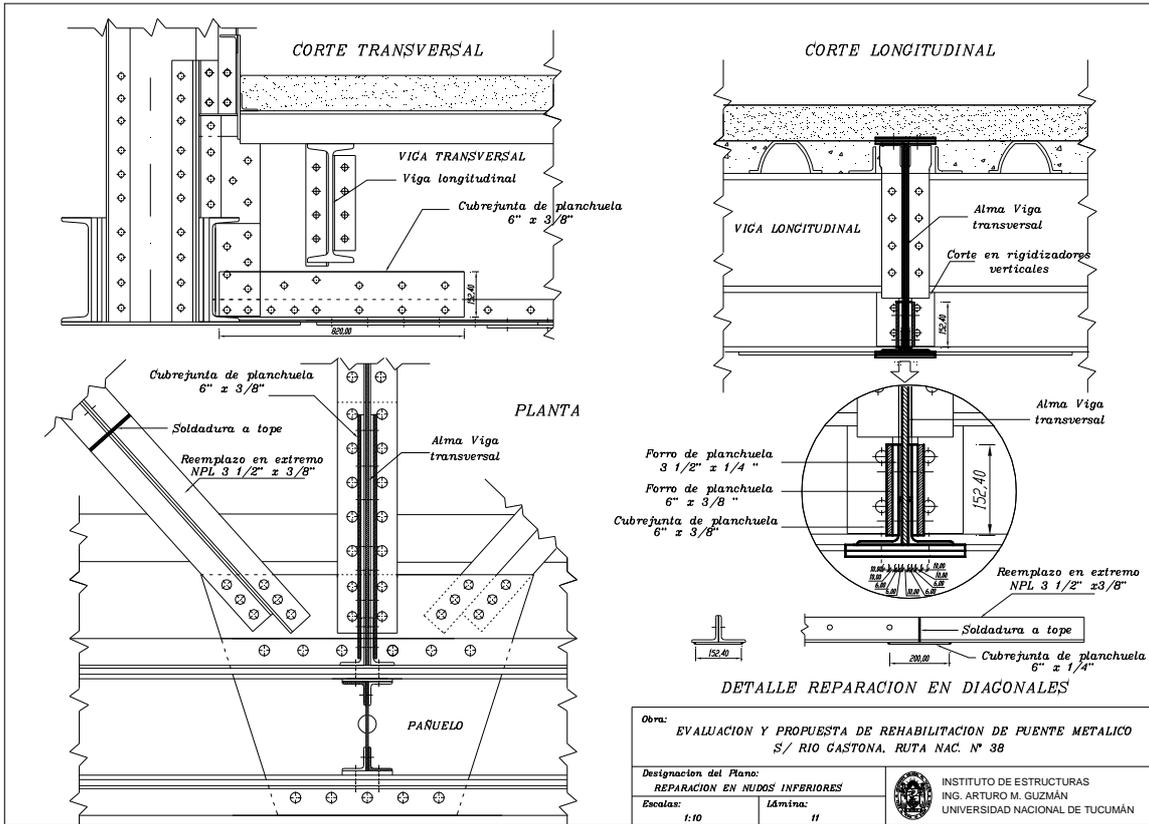


FIG. 15 – REPARACION EN NUDOS INFERIORES

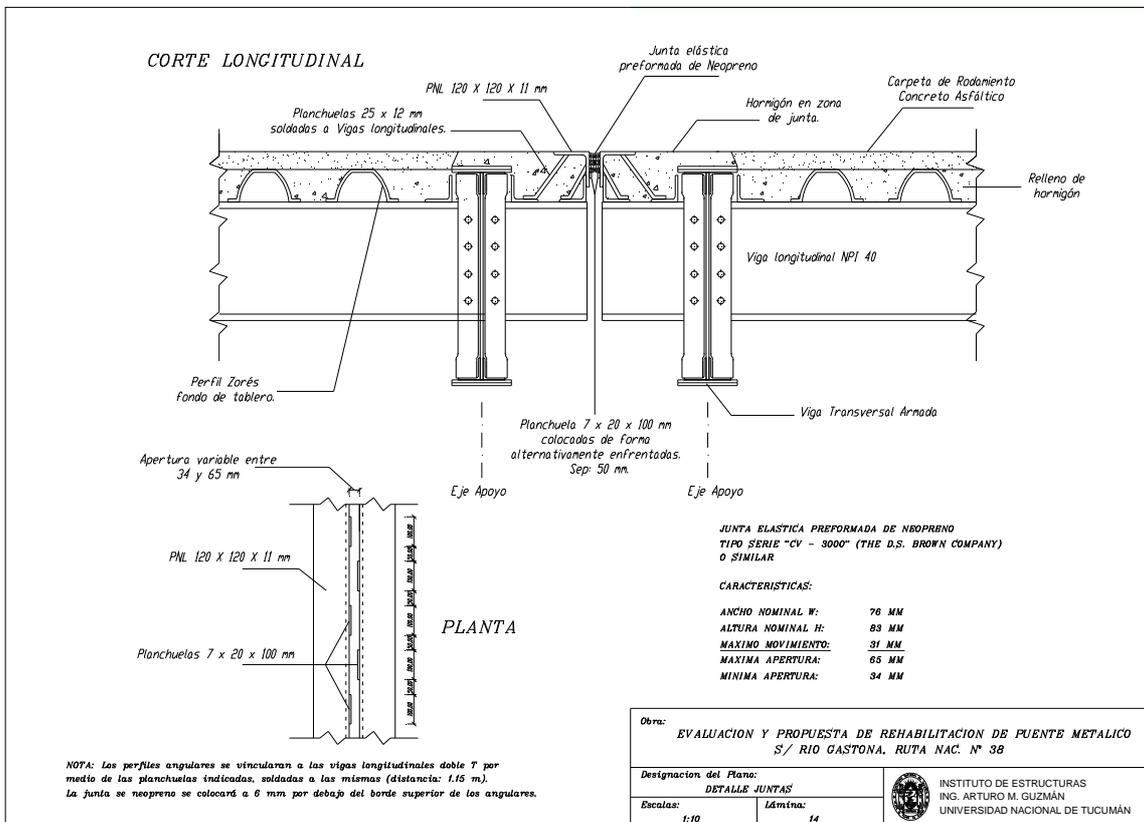
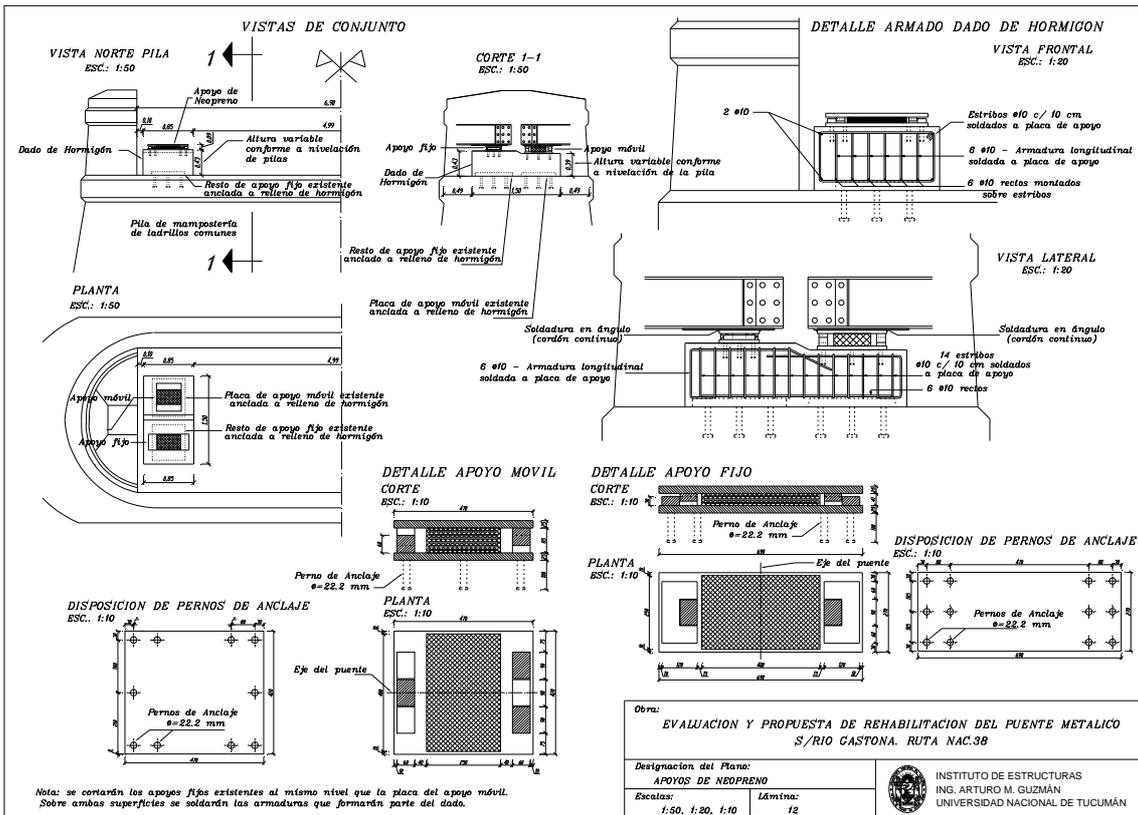
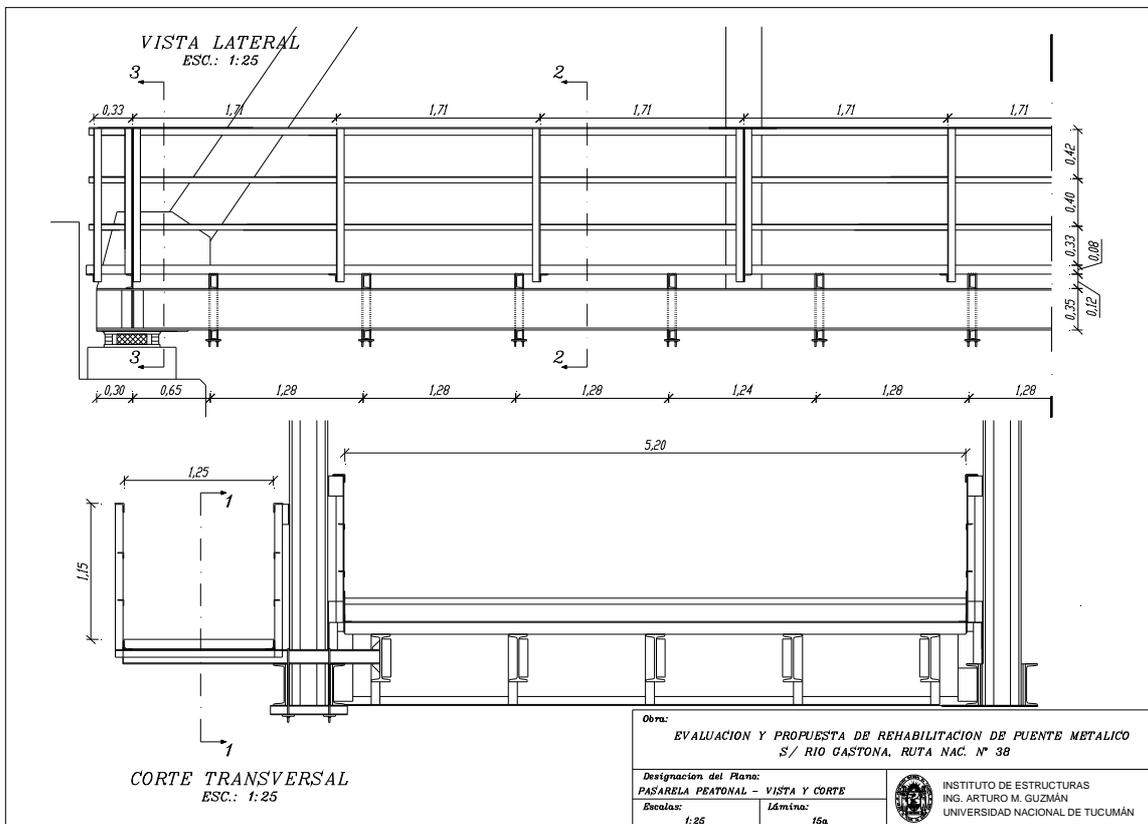


FIG. 16 – DETALLE JUNTAS



**FIG. 17 – REEMPLAZO POR APOYOS DE NEOPRENO**



**FIG. 18**

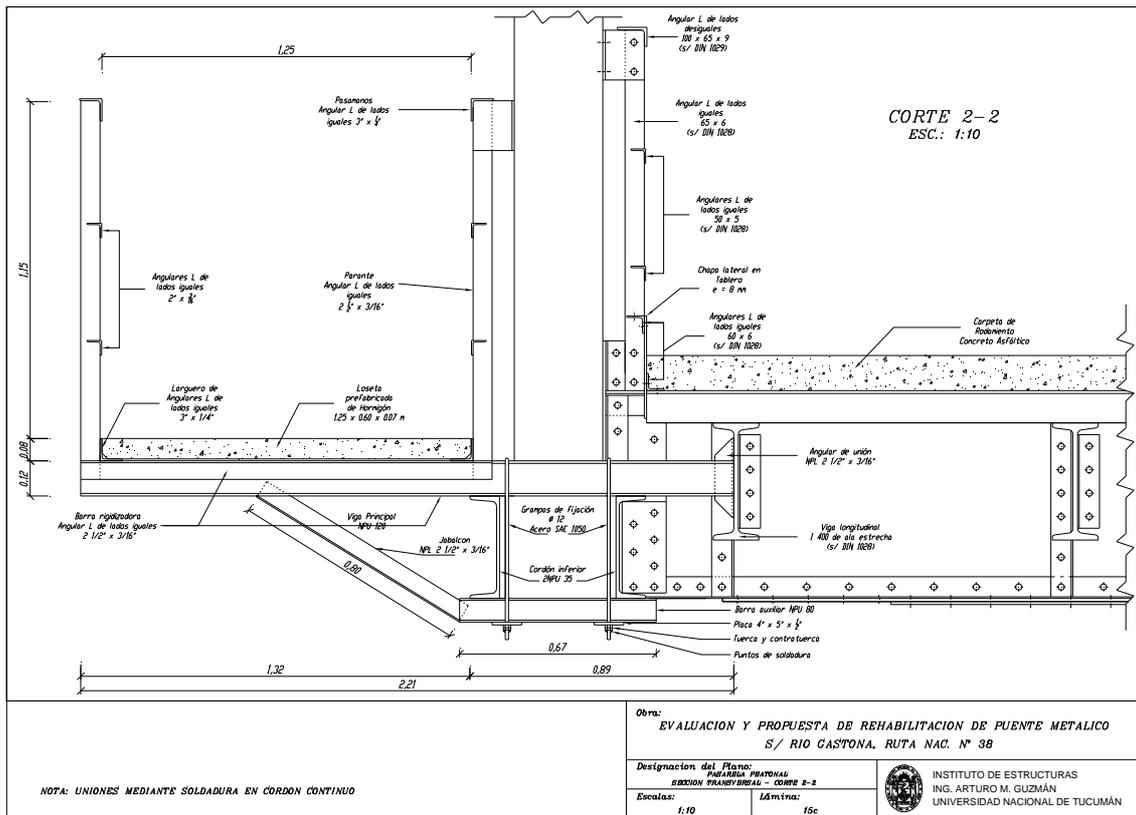


FIG. 19

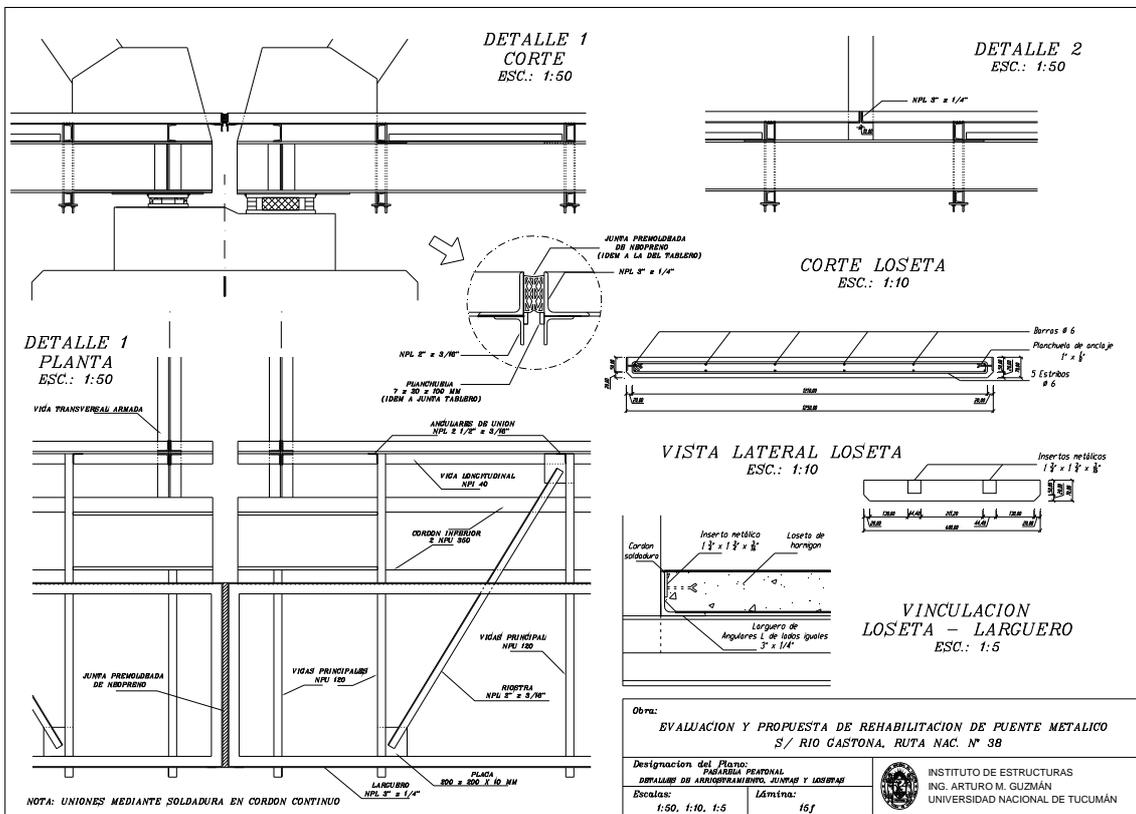


FIG. 20 – DETALLES PASARELA PEATONAL

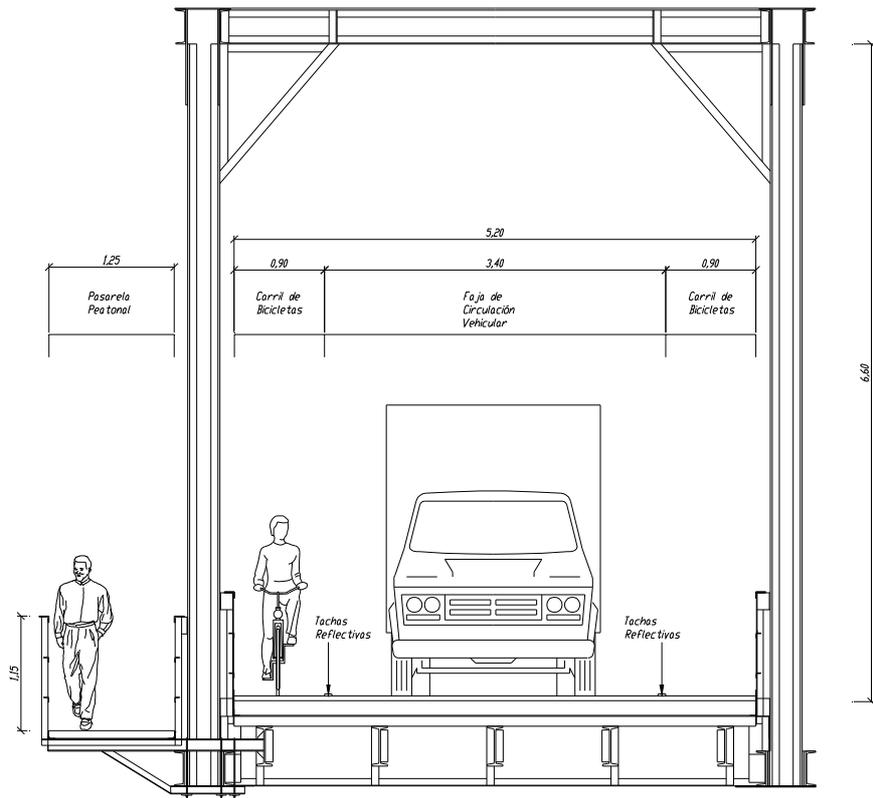


FIG. 21 – ZONAS DE CIRCULACION

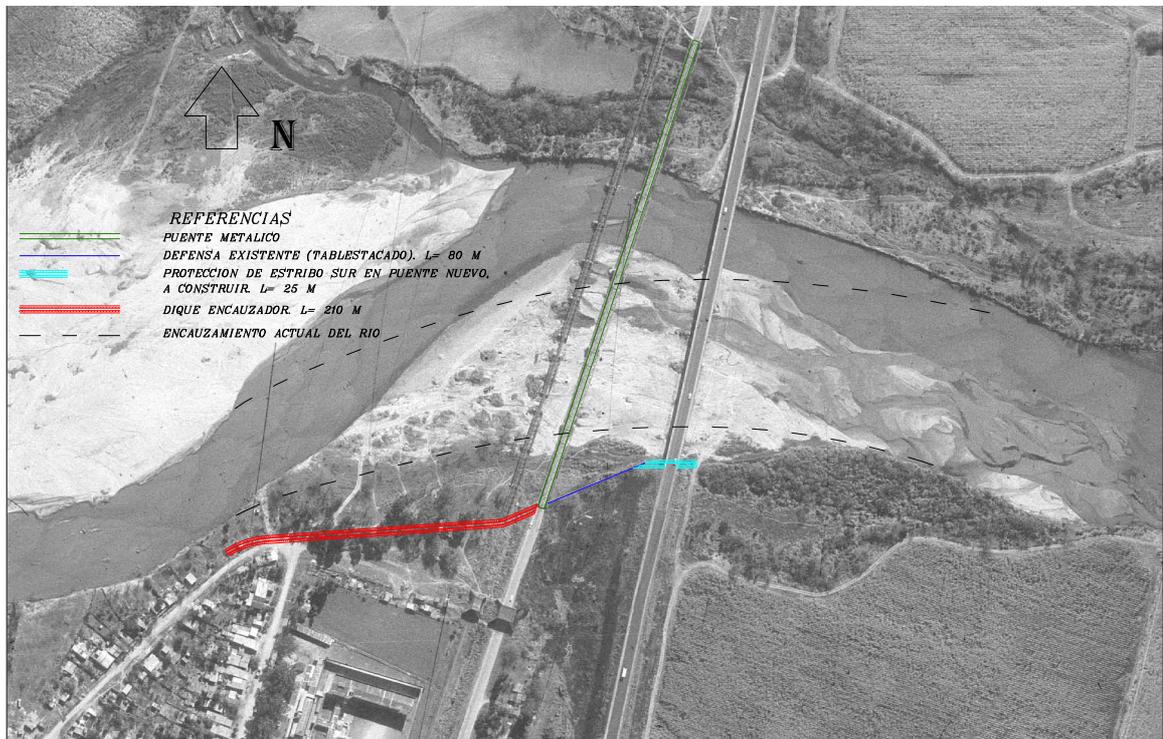


FIG. 22 – DEFENSAS DE ESTRIBOS EN LA MARGEN SUR

## **REFERENCIAS**

<sup>1</sup> INSTITUTO DE ESTRUCTURAS “Ing. Arturo M. Guzmán”, FACET, UNT, Informe Técnico: Convenio: DNV-Instituto de Estructuras (UNT). “Evaluación y Propuesta de Rehabilitación de Puente Metálico sobre Río Gastona, Ruta Nac. N° 38. Parte II: Informe Final”. Informe Técnico Ref. A-06-07. Tucumán, Argentina. Diciembre de 2007.

<sup>2</sup> DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD. “Bases para el Cálculo de Puentes de Hormigón Armado”. Argentina. Edición 1952 y sus modificaciones.

<sup>3</sup> INPRES-CIRSOC 103– “Normas Argentinas Para Construcciones Sismorresistentes”. Argentina. Edición 1991.

<sup>4</sup> NAA 80 “Normas Antisísmicas Argentinas”. Argentina. Edición 1980.

<sup>5</sup> MODELACIÓN NUMÉRICO COMPUTACIONAL DEL PUENTE METALICO SOBRE EL RIO GASTONA EN LA RUTA NAC N° 38, PROVINCIA DE TUCUMÁN. XX Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Bs. As. 15 al 17 de Octubre de 2008.

<sup>6</sup> MANUAL FOR CONDITION EVALUATION OF BRIDGES. AASHTO. Second Edition 2003.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los Ings. Jorge Alberto Gastiazoro y Eduardo Castelli, Jefe del 3er Distrito de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) y. Jefe de la oficina Sigma-Puentes del Dpto Conservación de la DNV respectivamente. Por su confianza y apoyo en la ejecución del Convenio que diera lugar a estos trabajos.

Al Sr. Fernando Mauri, alumno de la carrera de Ingeniería Civil (UNT), por su afanosa colaboración en la realización de los trabajos.