



ALBERTO PONCE DELGADO

EDUCACION

Ingeniero Civil graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. 1957

Le fue otorgada la Medalla de Oro.

CURSOS DE ESPECIALIZACION

Laboratorio Central de Ponts et Chaussées-Paris. 1958

Instituto Technique des Batiments et Travaux Publicques-Paris. 1959

Technische Hoogenchool- Delf - Holanda. 1959

Laboratorio de Engenharia Civil - Lisboa

Estudio experimental de estructuras por medio de fotoelasticidad y modelos. 1959.

PERFIL PROFESIONAL 1957 a 1999.

Director y Socio Fundador de la Empresa INVIAL INGENIEROS CONSULTORES S.R.L participando en todas las actividades de la empresa.

Presidente de la Asociación de Ingenieros (1985 - 1989).

Miembro de la Academia Nacional de Ingeniería desde 1977.

Miembro de la Academia Panamericana de Ingeniería.

Miembro Correspondiente de la Academia Argentina de Ingeniería.

Profesor grado 5 de la materia Puentes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República cumpliendo este año 50 años de docencia en diversas materias en dicha Facultad.

Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Montevideo desde 1997.

Designado por la Asociación de Ingenieros del Uruguay, conjuntamente con el Ing. Eladio Dieste, Ingeniero Destacado 1995.

ACTIVIDAD PROFESIONAL

Director del Proyecto y luego de la obra del Puente Internacional - Fray Bentos- Puerto Unzué sobre el Río Uruguay.

Proyecto de Remodelación de varias Rutas Nacionales para el MTOP y asesoramiento en obra.

Proyecto de Puente sobre el Río Negro. Proyecto de Puente Ferroviario, luego mixto y finalmente carretero en Ruta No. 6 (Km.329).

Proyecto del 2° Puente sobre la Barra de Maldonado.

Proyecto de Refuerzo de 1200 mts. de Muelles del Puerto de Montevideo para la ANP.

Proyecto y Dirección de Obra de Pistas y calles de rodaje de la Ampliación del Aeropuerto Capitán Curbelo en Laguna del Sauce.

Proyecto de ensanche y refuerzo de puentes para la Dirección Nacional de Vialidad del MTOP: Ao.Las Pajas, Ao. Silva, Ao. Pan de Azúcar, Ao. La Cruz, Ao. Sauce de Rocha, Ao. Rocha, todos en Ruta 9; Ao. Vejigas en Ruta 7.

Proyecto de Ampliación del Muelle de Escala del Puerto de Montevideo para su utilización en régimen de concesión.

Refuerzo de puente metálico sobre el Ao. San Francisco en Minas (Ruta 8).

Proyecto de estructura del Estadio Cerrado Municipal de Paysandú.

Proyecto de estructura de la Terminal de Omnibus de Paysandú.

Proyecto de puente sobre el Rfo Arapey para la Intendencia Municipal de Salto.

Cálculo estructural del Palacio de Justicia, correspondiente al proyecto inicial y a las sucesivas adaptaciones al cambio de destino.

Proyecto de estructura del Estadio Deportivo Campus de Maldonado.

Pasaje superior ferroviario en Fray Bentos.

Proyecto del Estadio Municipal de Montevideo (interior al Cilindro).

Multiplicidad de otros proyectos de Puentes, de Estructuras de Edificios Industriales y de vivienda.

PUBLICACIONES

Libro: «El puente General San Martín».

Artículos en Revistas sobre Métodos de Cálculo Estructural-

CONGRESOS Y SEMINARIOS

Congreso Panamericano de Ingeniería - La Habana, Cuba. 1988

Congreso de Unión Panamericana de Asociación de Ingenieros - Asunción, Paraguay. 1987

Organización y participación en «La Ingeniería Estructural en década del 80». Montevideo. 1987.

Participación en 13 Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural de 1953 a 1986.

DOCENCIA Y CONFERENCIAS

a) 1950-1956 - Profesor de clases prácticas de Análisis Matemático I y II. (Fac. de Ingeniería de la Universidad de la República).

b) 1951-1972 - Clases prácticas de Elasticidad Experimental.

c) 1958 - Profesor Adjunto de Matemáticas en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de la República.

d) 1962-1973 - Profesor de Resistencia de Materiales e la Fac. de Ingeniería de la Universidad de la República.

e) 1972-1999 - Catedrático del curso de Puentes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.

f) 1990-1995 - Catedrático del Curso de Hormigón II - Puentes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.

g) 1996-1999 - Catedrático de cursos sobre «Análisis Experimental de Estructuras». Universidad de Montevideo.

Múltiples conferencias en entidades técnicas, sociales y culturales.

ARBITRAJE-PERITAJES

Arbitro en la contienda de la Intendencia Municipal de Montevideo con la empresa contratista del Emisario Submarino.

Arbitro en la contienda de la Administración de las Obras Sanitarias del estado con la empresa contratista de la Represa de Paso Severino.

Peritajes: Líneas de Trasmisión Yaciretá - Saneamiento Montevideo Oeste.

Incendio de UTE.

Fábrica Azucitrus.



**V CONGRESO IBEROAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES
VII CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD**

18 al 21 de Octubre de 1999
Hotel Victoria Plaza - Montevideo

Work Commissions

CIB W 86 BUILDING PATOLOGY (Patología de la Construcción)
CIB TG 40 INFORMAL SETTLEMENT (Asentamientos Informales)
16 y 17 de Octubre de 1999

EL ENSANCHE Y REFUERZO DE PUENTES

Ing. Alberto Ponce Delgado

El refuerzo de estructuras en general, requiere la verificación en primer lugar del estado y capacidad resistente de las fundaciones existentes.

Si se verifica su buen estado, la etapa siguiente es la de analizar por cálculo su capacidad resistente y eventualmente por medio de ensayos de carga.

Posteriormente es necesario calcular totalmente el puente existente para conocer sus puntos débiles y sus partes fuertes.

Luego se planificará una forma de refuerzo y ensanche del puente en forma coherente con lo analizado anteriormente.

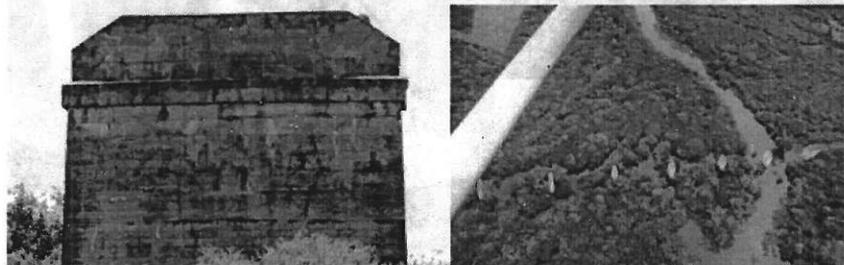
Los casos que se pueden presentar son variados en función de la tipología y estado de cada puente a reforzar.

Por eso vamos a pasar a ver ejemplos de distintos proyectos de refuerzos realizados o en vías de realización.

Un primer caso que no es precisamente un refuerzo sino la utilización de elementos existentes fundaciones y pilas, adaptarlos a su nuevo trabajo por medio de refuerzos y ampliaciones sucesivas de su estructura:

- El puente del Km 329 en Ruta 6 (2.080 mts de longitud)

Desde hace unos 60 años existían en un cruce del Río Negro en medio de una zona bastante despoblada, pilas de un puente abandonado que asemejaban construcciones mayas en medio de la selva. Fotos 1 y 2 .



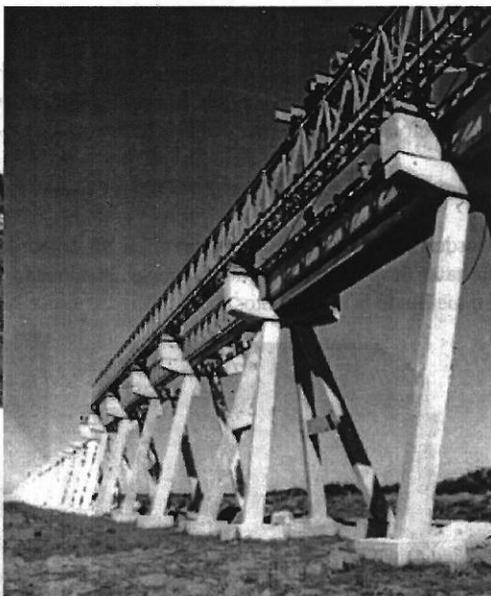
También al norte del Río Negro en la zona del puente llamada viaducto se habían construido también hace 60 años 1200 pilotes hincados con una cierta disposición en planta que era bueno evaluarlos y en caso de que estuvieran en condiciones, utilizarlos proyectando una estructura de puente que fuera coherente tipológicamente con la disposición en planta de los pilotes existentes y con su capacidad de carga.

Era por lo tanto necesario calcular su resistencia en función de la sección transversal de los pilotes y de la geología de la zona, considerando a partir de ellas y de los planos existentes su capacidad de carga.

Luego habría que planificar ensayos de carga para verificar los cálculos realizados. En la primera etapa debido a las dificultades de acceso al lugar, hubo que ingeniarse para con un mínimo de elementos (que se llevaron arrastrados por bueyes) poder efectuar los ensayos.

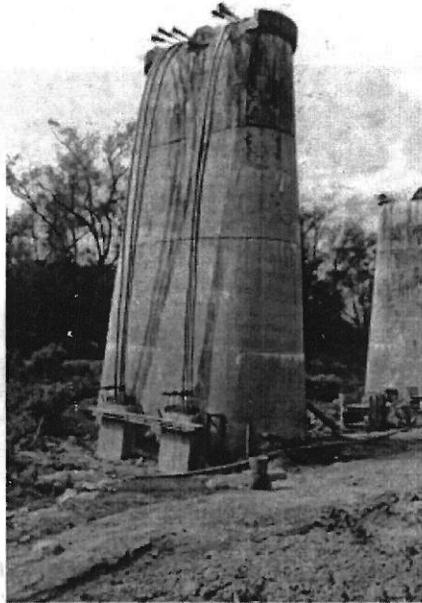
Luego de verificado a través de los ensayos realizados el buen comportamiento de los 1200 pilotes colocados 60 años atrás había que proyectar una estructura que soportara las cargas ferroviarias y con pilares que se apoyaran en los pilotes que imponían una ubicación existente y una forma de disposición en grupos.

Proyecté entonces la estructura toda con elementos prefabricados y que se montaba como se ve en las fotos No. 3 y 4.



En este mismo puente también se habían construido hace 60 años en el sector sobre el río pilas macizas de hormigón simple. Sobre ellas proyecté un par de vigas portarrieles. Pero las pilas existentes no resistían las fuerzas horizontales de frenado y viento. Para resolver el problema proyecté un losón superior de hormigón armado y tiradores verticales postensados anclados en perforaciones oblicuas efectuadas en las fundaciones .

Se aprecian estos refuerzos en la foto No. 5.

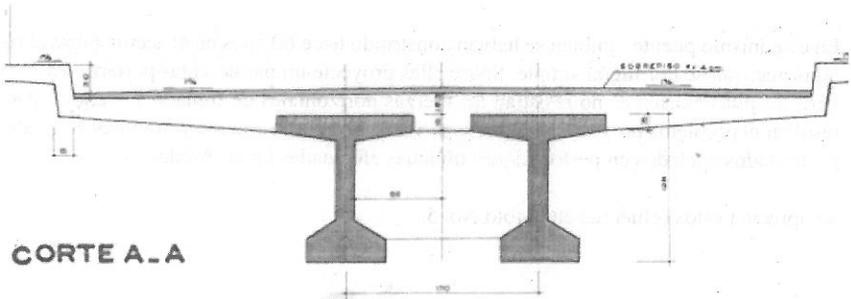


Posteriormente a la finalización de este puente ferroviario, AFE analizó la rentabilidad de las líneas de todo el País y se determinó que esa línea no era rentable, por lo que se suprimió.

El puente pasó a la órbita del Ministerio de Transporte y Obras Públicas y se llamó a licitación para convertirlo en puente carretero.

Proyecté para la Empresa Saceem en la parte del puente principal un ensanche por medio de una losa doble ménsula postensada transversalmente. Foto No.6 . En la parte de viaducto se agregaron 2 vigas prefabricadas y entre ellas una losa de tablero.

Un aspecto del día de la inauguración se ve en la foto No.7 lo que constituyó una involuntaria prueba de carga.



- Puente sobre el Arroyo Rocha en Ruta 9.

Otro caso interesante es el caso del puente sobre el Arroyo Rocha. Allí existía un puente de ocho tramos de 18 mts de luz c/u, cuya estructura fundamental estaba constituida por vigas trianguladas de hormigón como se ve en la Foto No.8.



La calzada que quedaba libre para el tránsito era de 5 mts.

Se planteó una licitación a la cual había que presentar un proyecto de ampliación a 8 mts de ancho y veredas de 1 metro además de reforzar todo para sobrecargas mayores.

Condición fundamental era mantener permanentemente el tránsito.

La necesaria demolición de las vigas trianguladas para el ensanche, más la condición de mantener el tránsito creaban un difícil problema.

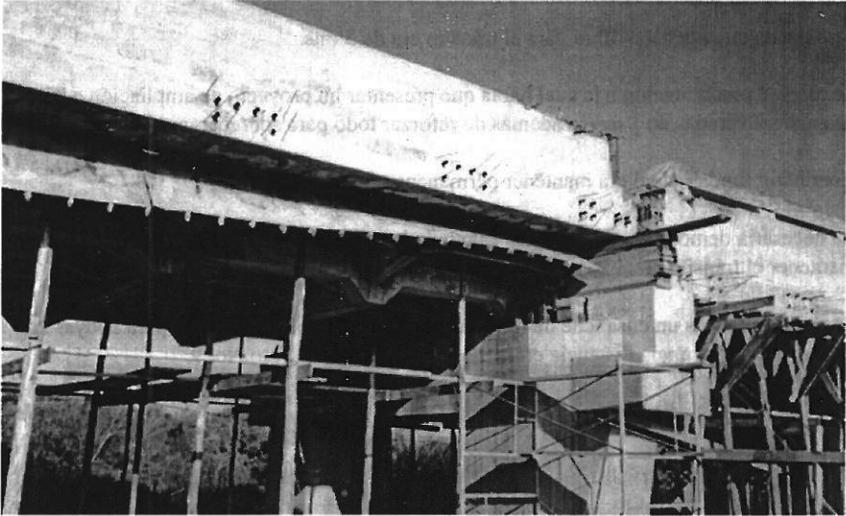
Proyecté entonces un ensanche de las pilas pórticos, dándole resistencia para apoyar una viga a cada lado, a una distancia entre ejes de 10.50 mts. Foto No. 9.



Como una condición era que el refuerzo del puente no podía ir más bajo que el intradós del puente existente, y la cota de calzada no podía subir. Por lo tanto aproveché la altura de la futura baranda para dimensionar las vigas laterales que quedaron oficiando también de barandas.

Para poder montar esas vigas proyecté fabricarlas sobre las veredas del puente y luego programé el desplazamiento y descenso por medio de dos carritos dimensionados para una carga de 25 toneladas (las vigas pesan 50 toneladas) que corrían sobre una pila de gruesos tablonces de madera dura. Una vez en la vertical de su ubicación la viga se levantaba con 2 gatos, se retiraban los carritos, el perfil metálico sobre el que corrían y se quitaba el tablón siguiente.

recuperaba la carrera del gato hidráulico y luego se volvía a levantar la viga, se quitaba otro tablón y así sucesivamente hasta que la viga quedaba sobre los apoyos de neopreno. Ver foto No.10.



A través de orificios en la losa del tablero se prolongaron las vigas transversales existentes y se reforzaron con cables de postensado que además las unieron a las vigas longitudinales previamente construídas.

El postensado de ambas se proyectó para que hicieran fuerza hacia arriba en los nudos de las vigas trianguladas e invirtieran los esfuerzos en sus barras.

El momento cumbre de esta construcción fué el de la demolición de las vigas trianguladas dado que había que impedir que al cortar alguna de sus barras, al estar todavía bajo tensión produjera un simbronazo que pudiera afectar en algo el resto de la estructura.

Para evitar ese efecto, se eligieron para comenzar la demolición cortar el cordón superior en dos puntos que -de acuerdo a los cálculos realizados y por efecto del postensado de las nuevas vigas transversales y longitudinales- estarían sometidos a una tracción de 18 toneladas.

En ambos puntos simultáneamente se demolió el hormigón en unos 30 centímetros de longitud dejando sin afectar los 6 hierros de 25 mm de diámetro.

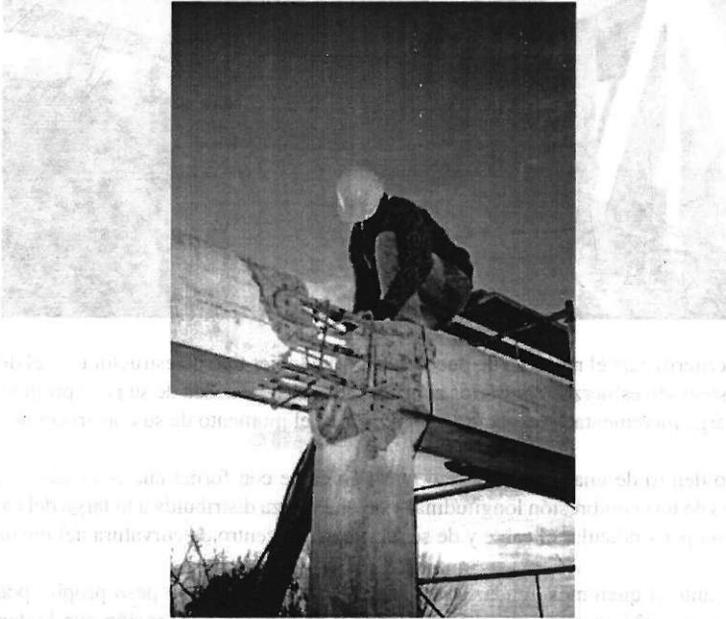
Luego se calentó a soplete la armadura. Foto No.11.

Previamente se había colocado entre las dos caras de la demolición del cordón superior un flexímetro para controlar la deformación por termofluencia de la armadura.

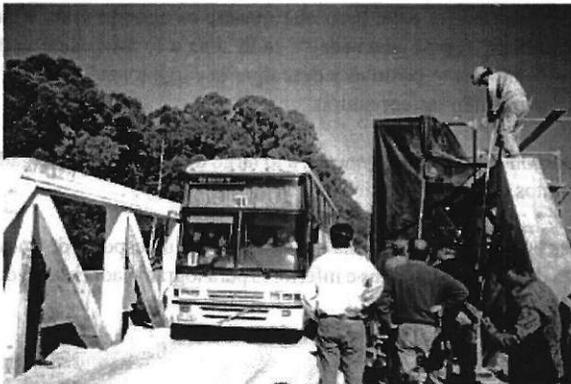
También se colocó un flexímetro para controlar la deformación vertical de la estructura triangulada.

A medida que la armadura se fue calentando, ambos flexímetros mostraban la coherencia de las deformaciones con los cálculos teóricos.

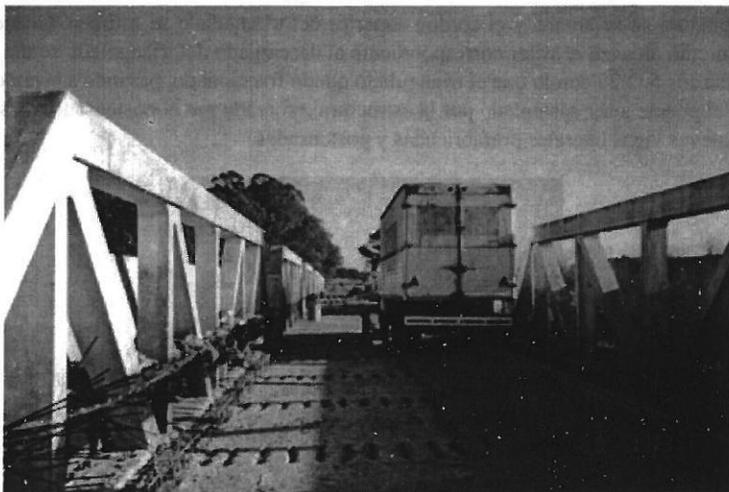
La estructura se levantaba y el cordón superior del triangulado se estiraba. Cuando ese estiramiento alcanzó el valor correspondiente al descargado del triangulado se dió orden de cortar los 6 O 25 con lo que el triangulado quedó fraccionado, pasando suavemente el peso del puente a ser sustentado por la estructura reforzada por el postensado transversal y las nuevas vigas laterales prefabricadas y postensadas.



Durante todo el proceso de construcción y demolición se mantuvo el tránsito por el puente. Ver Foto No.12.



Los llenados de los refuerzos de vigas se hicieron a través de orificios practicados en la losa de tablero existente. Ver Foto No. 13.



- Otro criterio para el refuerzo de puentes -o de cualquier tipo de estructura- es el de crear por postensado esfuerzos contrarios al que se debe sustentar, sea de su peso propio o de la sobrecarga incrementada respecto a la prevista en el momento de su construcción.

Cuando dentro de una estructura uno tensa un cable con forma curva, el efecto que se causa es de una compresión longitudinal y de una fuerza distribuida a lo largo del cable de dirección perpendicular al cable y de sentido hacia el centro de curvatura del mismo.

Por lo tanto si queremos ayudar a una viga o losa a sostener su peso propio, podemos colocarle un cable con curvatura hacia arriba y de acuerdo a la tensión que le demos al cable podemos sustentar todo el peso propio de la viga y aún más, cargarla hacia arriba de manera que cuando reciba la sobrecarga se sustente al menos una parte de ella.

Hay varios medios para lograr esto, pero una manera es agregar a las vigas del puente cables con la curvatura y fuerza adecuadas a cada zona a lo largo de ella de manera de levantar las zonas de momento positivo y descargar la carga tomada por los cables en las zonas de apoyos, invirtiendo las curvaturas.

Las vigas de hormigón existentes en general, a lo largo de una vida prolongada del puente, tienen algunos puntos que es necesario reparar.

Para lograr esto es bueno recubrir el alma de las vigas con un espesor de nuevo hormigón, previo tratamiento de las caras laterales e inferiores para lograr la adherencia de hormigones viejos y nuevos.

Ese encamisado de las vigas existentes tiene también la misión de contener y proteger los cables agregados y permitir el pasaje de los esfuerzos entre la estructura existente y los refuerzos agregados.

Esta forma de reforzar puentes fue empleada en los puentes de Ruta 9 sobre los arroyos: **Pan de Azúcar, Las Pajas, Silva, La Cruz y Sauce de Rocha.**

Todos ellos se reforzaron sin detener el tránsito, la mayor demora en permitir el paso de vehículos fue en todos los casos en el momento de la inauguración para cortar la cinta.

- Otro ejemplo de refuerzo fue el del **Arroyo Vejigas en Ruta 7** en donde se debía ampliar el puente sólo hacia un costado en forma asimétrica.

Las pilas del puente existente eran tipo pórtico múltiple con 4 pilares verticales.

Para poder ensancharlo hacia un costado proyecté agregar a los pórticos, pilares oblicuos, convirtiendo los pórticos en triangulados que fueran capaces de resistir cargas excéntricas y con cables de postensado que absorbieran las fuerzas de tracción resultantes en la viga superior y reforzando la base con una viga horizontal que transportara las fuerzas de compresión del cordón inferior.

Ver foto No. 14.



La nueva losa del tablero se construyó parcialmente sobre la anterior tomándola como encofrado.

- Como un último ejemplo de patología de las construcciones y su remedio es bueno expresar que no siempre las patologías se presentan en estructuras antiguas, sino que también puede suceder que durante la construcción de una obra se produzcan accidentes que creen el problema de una reparación que logre un resultado igual o mejor que el que tendría si no se hubiera producido ese accidente.

En todas las grandes obras se produce alguna cosa como la expresada anteriormente. O porque se comete un error en la dosificación de un hormigón o por un exceso de aditivos, o por roturas de vainas de postensado o por un exceso de presión en una inyección de lechada en las mismas, etc. etc.

En la construcción del **Puente Fray Bentos Puerto Unzué** al inyectar una vaina posiblemente obstruída los operarios optaron por aumentar la presión de inyección para lograr destaparla.

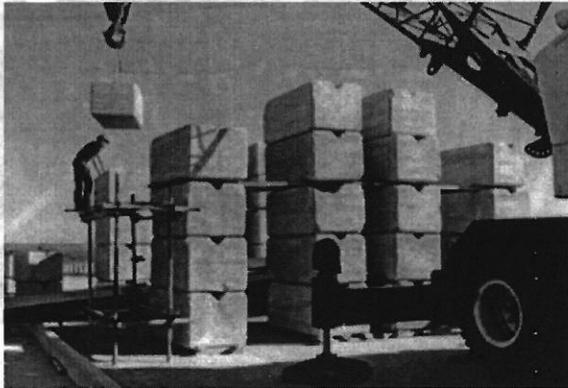
Como consecuencia de ello se produjo una separación horizontal en dos capas de la losa superior de la sección cajón en el arranque de la gran ménsula de 90 mts. de luz.

Ello motivó la necesidad de repararla. Para eso se cosió con un cuadrículado de barras verticales adheridas con epoxi, se inyectó con mortero epoxi la separación horizontal de la losa y además se colocaron chapas de acero pegadas en la capa inferior también con epoxi a manera de armadura exterior.

De esa manera, por cálculo se lograba una resistencia doble a la que hubiera tenido si no se hubiera producido el accidente.

Para evitar cualquier diferencia entre lo que daba el cálculo con la realidad, se efectuaron pruebas de carga midiendo deformaciones.

Estas pruebas de carga consistieron en cargar la losa reparada (Foto. No. 15) y también la gran ménsula soportada en parte por esa losa.



Conjuntamente con ese ensayo se efectuó el ensayo de carga de los 3 grandes tramos centrales de 145 - 220 - 145 metros.

El tramo central de 220 mts. fue en el momento de la construcción el más grande del mundo en viga postensada superando al Puente Bendorf sobre el Rhin en Alemania.

El pliego de condiciones ya preveía hacer un ensayo de carga de los 3 tramos centrales.

Esa previsión estaba hecha sobre la base de cargar con unas 500 pesas de hormigón de 2 toneladas cada una, unas mil toneladas sobre el tramo central de 220 mts. de luz.

En vez de hacerlo con pesas, propuse a la Comisión Internacional y a la Empresa constructora, realizarlo con camiones cargados con las pesas, para así facilitar la operación, pero además para que se visualizara la enorme carga aplicada, y que seguramente nunca más se volvería a reproducir con el tránsito normal.

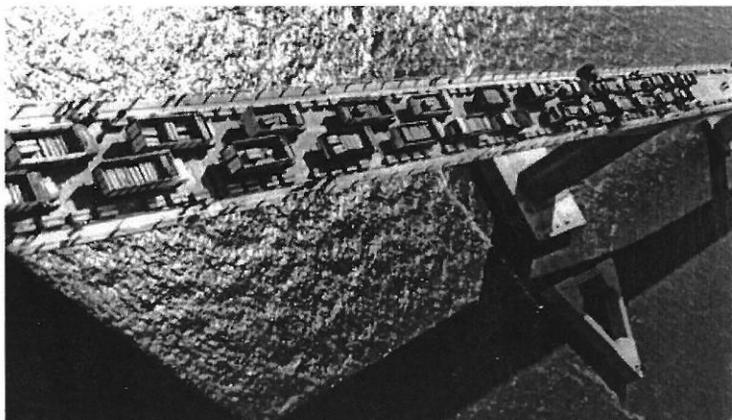
Así se decidió y el día anterior al del ensayo se cargaron 40 camiones especiales con cargas del orden de 25 toneladas cada uno. Una vez pesados en la balanza, se fueron repartiendo a lo largo del puente con la finalidad de que al día siguiente avanzaran sobre los tramos centrales e ir reproduciendo gradualmente estados de carga, para simultáneamente medir las deformaciones e ir controlando el comportamiento de la estructura y comparándolo con los cálculos teóricos.

Pero en la noche anterior en que los conductores de los camiones cargados pernoctaron en sus cabinas esperando la mañana del ensayo, uno de ellos -como broma- hizo circular un artículo de la Revista del Reader's Digest titulado «El día que se hundió el gran puente» que describía una catástrofe sucedida en Australia.

El día anterior se les había explicado cuál era la tarea que se iba a realizar al día siguiente. Y algunos hicieron algún comentario de duda al respecto.

Por eso, y por el propio entusiasmo que tenía mi familia por esa etapa de culminación de la construcción del puente, al día siguiente mi esposa y mis dos hijos estaban instalados en el medio del tramo central del puente. Ante eso los camioneros fueron ubicándose en cada posición que le íbamos indicando para provocar las cargas parciales del ensayo.

Simultáneamente se tomaban fotos aéreas de cada estado de carga, por medio de una avioneta y un fotógrafo que había contratado a los efectos de registrar esa operación y enviarla a la prensa como demostración de que el puente estaba correctamente construído. (Foto No. 16).



Cuando se terminó el ensayo, el camionero bromista me contó la anécdota y me regaló la revista que había hecho circular entre los compañeros de aventura.

En resumen : hemos relatado diferentes tipos de ampliación y refuerzos de estructuras de puentes con patologías variadas.

Los procedimientos empleados son por supuesto extensibles a variados tipos de otras estructuras en donde también hemos empleado procedimientos similares.

