

PROPUESTA DE REFORZAMIENTO Y CORRECCIÓN DE PATOLOGÍAS DE PUENTES DE CONCRETO MEDIANTE TÉCNICAS DE PRETENSIÓN EXTERIOR

Ronald Torres ¹, María Luisa Díaz ¹, Duilio Marcial ¹

¹ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME)

RESUMEN

Ante el problema planteado por las sobrecargas excesivas que superan las de diseño y que deben ser soportadas durante la vida útil de los puentes de Venezuela y del mundo, se propone como solución por considerarla idónea, dada su efectividad y facilidad relativa de ejecución, el reforzamiento, utilizando Pretensado Exterior, combinado con la adición de elementos metálicos, para mejorar el comportamiento de los tableros, alargar su vida útil, logrando el reforzamiento en un lapso de tiempo relativamente corto y sin provocar grandes alteraciones del tráfico. Para ello se experimenta con un modelo de tablero típico al que se le sometió a un ciclo de envejecimiento acelerado y posteriormente fue reparado y reforzado, mediante una técnica combinada de Pretensado Exterior y reforzamiento. Los resultados indican que se logra un incremento de la capacidad de carga por encima del 75% del comportamiento en el modelo original, llevando los puentes a una capacidad que puede ser competente con los nuevos trenes de carga, sin afectar los soportes y con tiempos de respuesta relativamente cortos.

Palabras Clave: puentes, Refuerzo puentes, refuerzo postensado, patología de puentes, reparación de puentes.

ABSTRACT

Faced with the problem posed by excessive overloads that exceed the design and that must be supported during the lifetime of the bridges of Venezuela and the world, it is proposed as a solution because it is considered appropriate, given its effectiveness and relative ease of execution, the reinforcement, using external pre-stressing, combined with the addition of metal elements, to improve the behavior of the boards, lengthen their useful life, achieving the reinforcement in a relatively short period of time and without causing major traffic alterations. To do this, a typical panel model was experimented which underwent an accelerated aging cycle and was later repaired and reinforced by means of a combined technique of exterior pre-stressing and reinforcement. The results indicate that an increase of the load capacity is achieved over 75% of the behavior in the original model, taking the bridges to a capacity that can be competent with the new freight trains, without affecting the supports and with times of relatively short response.

Keywords: Bridges, Reinforcement bridges, Post-tensioned reinforcement, Pathology of bridges, Bridge repair.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que afrontan las Estructuras de Concreto durante su vida útil, es la adecuación a nuevas solicitudes de carga, las cuales frecuentemente superan con mucho las cargas para las cuales fueron diseñadas. El ejemplo quizás más emblemático en Venezuela lo constituyen los puentes de concreto armado y de pretensado, cuyas cargas rodantes actuales, superan por mucho a las de diseño.

Por otra parte, los cambios de uso, la adecuación a las exigencias de una normativa de cargas y sobrecargas cada vez más estrictas, obliga a reforzar las estructuras y así lograr mejorar sustancialmente su desempeño. Una buena alternativa es la utilización del pretensado externo, con el cual se modificará completamente su comportamiento.

Cada vez se utilizan más concretos denominados en forma genérica como parcialmente pretensados, cuyo refuerzo, es una combinación de armaduras pasivas y activas en diversas proporciones. Estas “proporciones” pueden también variar durante la vida de la pieza, en las diferentes etapas constructivas, ya sea en la de prefabricado, durante la construcción y finalmente en la puesta en servicio. Hoy en día frecuentemente se realiza también un pretensado exterior con diversos propósitos ya sea para aumentar la capacidad de carga, para corregir deformabilidades, o bien para lograr la continuidad de la estructura, etc. A pesar de los avances tecnológicos y por tratarse de estructuras en muchos casos con algunas deficiencias, existen limitaciones a la hora de calcular el grado de confiabilidad de las reparaciones realizadas, pues es muy difícil de verificar los cambios en los esfuerzos después de las pérdidas, y la capacidad de deformación restablecida, y en consecuencia también determinar la nueva ductilidad del elemento.

Pretendemos, estudiar procedimientos que permitan aumentar la confiabilidad en las acciones de rehabilitación y especialmente estudiar el diseño y comportamiento de los elementos añadidos: desviadores y anclajes, los cuales además de ser primordiales sus funciones, en estructuras en uso, es difícil escoger la ubicación y adaptar su diseño, al espacio disponible dentro de la estructura, para así lograr la mayor efectividad.

Estas problemáticas, particularizadas para diferentes países, fueron mostradas por Tilly (2002), [7]; del Reino Unido, Chatelain J. et al (1991), [8]; de Francia, Petrangeli MP (1996), [9]; de Italia y Radomski W. (1996), [10], de Polonia.

METODOLOGÍA

El modelo a ensayar, fue escogido tratando de reproducir un sistema estructural de tablero muy frecuente, en los puentes del país, consistente en un conjunto formado por vigas prefabricadas que soportan una losa de concreto armado. Las dimensiones del modelo se fijaron tomando en cuenta los equipos de aplicación de carga disponibles en la Nave Norte del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, (IMME), perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad

Central de Venezuela, en este caso el equipo escogido fue la Prensa Lohse de capacidad 1000 toneladas y con un ancho de cabezal de máquina de 60cm. Como vigas, se utilizaron un lote de viguetas pretensadas prefabricadas, fabricadas y vendidas por la empresa Sistensa, C.A, quien las donó para esta investigación.

Para la determinación de las propiedades mecánicas de las viguetas, una de ellas fue sometida a un ensayo de flexión, simplemente apoyada con una luz libre de 5,6m y bajo una carga concentrada, aplicada en el centro del tramo. Con este modo de aplicación de la carga se obtiene, además de los valores máximos del momento unas zonas de corte constante que se extiende desde los apoyos al punto de aplicación de la carga. En la Figura 1, se muestra el montaje de ensayo la sección transversal de la viga y el esquema del ensayo, el cual fue identificado como Ensayo 0.

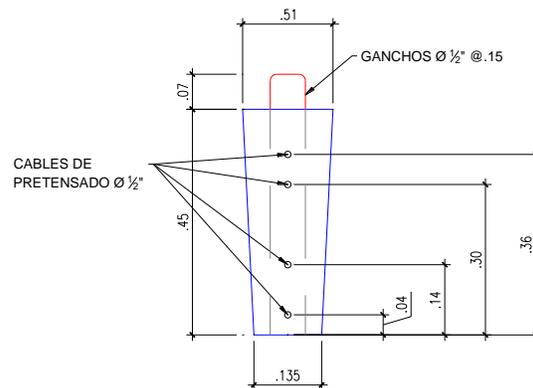


Figura 1. Vista de la prensa y de la vigueta antes de ser ensayada. Ensayo 0.

El momento de agrietamiento ocurrió para un valor de 9,8 ton.m. El momento de rotura fue fijado con el criterio de considerar como la rotura el inicio del aplastamiento bajo la carga y la presencia de una profusión de grietas de tracción, que alcanzan la zona de compresión y su valor fue de 19,6 ton.m. El momento máximo aplicado alcanzó los 24,9 ton.m.

Una vez estudiadas las viguetas se procedió al diseño y construcción del modelo que consiste en dos viguetas conectadas por una losa de concreto armado de 10cm de espesor cuyas características se muestran en las Figuras 2 y 3. En la construcción de la losa se usó como encofrado una lámina de acero de espesor 5mm, la cual en el caso de la base se dejó permanentemente y después de fraguado el concreto, se retiraron las caras laterales. La losa, fue armada en dos sentidos, con cabillas de diámetro de $\text{Ø}1/2''$, y el vaciado fue realizado con concreto premezclado de una resistencia a la compresión de 233 kgf/cm²

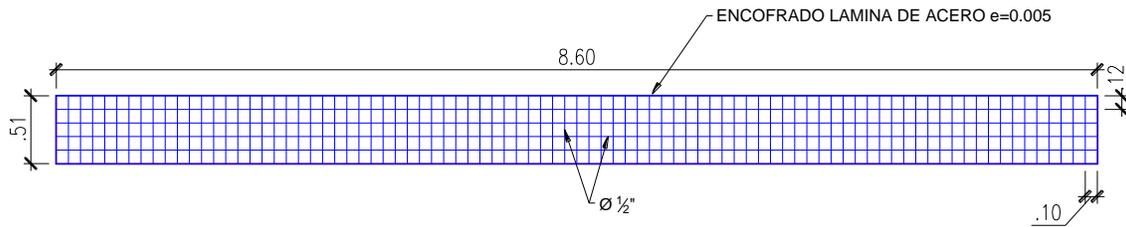


Figura 2. Modelo de Tablero de un Puente. Ensayo: 1,2 y 3.

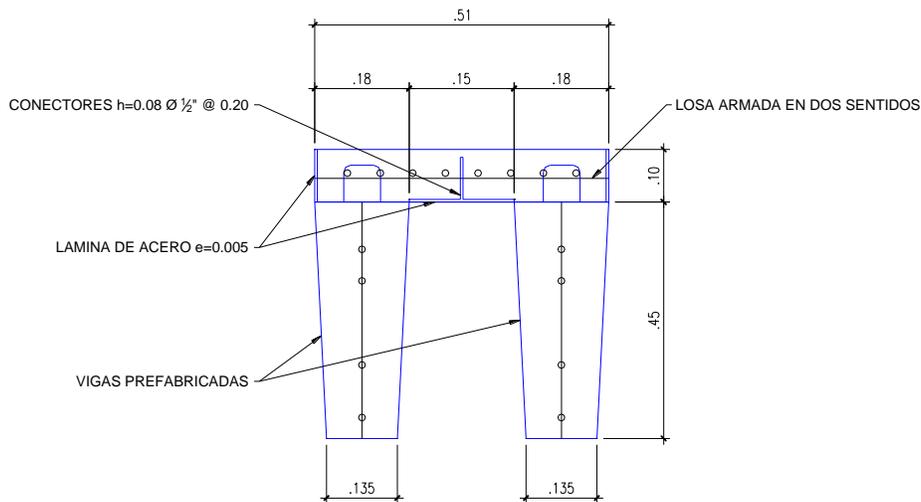


Figura 3. Sección transversal de Tablero de Puente. Ensayo: 1,2 y 3.

El prototipo fue sometido a varios ciclos de carga, donde se incurrió en la zona no lineal, produciéndose agrietamientos, pero, sin producirse daños significativos. Esto corresponde a los Ensayos 1, 2 y 3. Para ello, se decidió someter a la pieza a un ensayo a flexión, con cargas iguales aplicadas simétricamente, como se puede apreciar en la Figura 4, lo cual permite obtener, en la zona central una zona de Momento constante y en las laterales unas de corte constante.

Durante todos los ensayos las mediciones de las flechas se realizaron mediante parejas de flexímetros ubicados a lo largo del modelo, para garantizar que no hubiere desplazamientos laterales, ni momentos parásitos de torsión. Estos flexímetros se retiraban cuando el incremento de las deformaciones era tal que ponían en riesgo los instrumentos. Para cada nivel de carga, durante los ensayos se marcaron sobre el modelo las grietas que aparecían, su ubicación, su longitud y se anotaban la carga a la cual aparecieron. Esto, permitía controlar el avance del deterioro y vigilar que las grietas de flexión no alcanzaran la zona de compresión antes de haber concluido el proceso de envejecimiento.

Una vez analizadas, y concluidas estas etapas, se procedió a realizar el proceso de reforzamiento del prototipo mediante la aplicación de un pretensado exterior, con la intención de que la capacidad resistente de la pieza se incrementará por lo menos en un 33%, expresado mediante el aumento del valor del momento resistente, cuando se incrementa la sobrecarga aplicada. Se

reforzó el modelo pretensado con una fuerza de 20 ton, esto corresponde a los Ensayos 4 y 5 los cuales fueron interrumpidos debido a que durante los mismos se detectaron problemas en el anclaje pasivo, consistentes en una deformación excesiva, por lo que se detuvo el Ensayo y se modificó el anclaje.

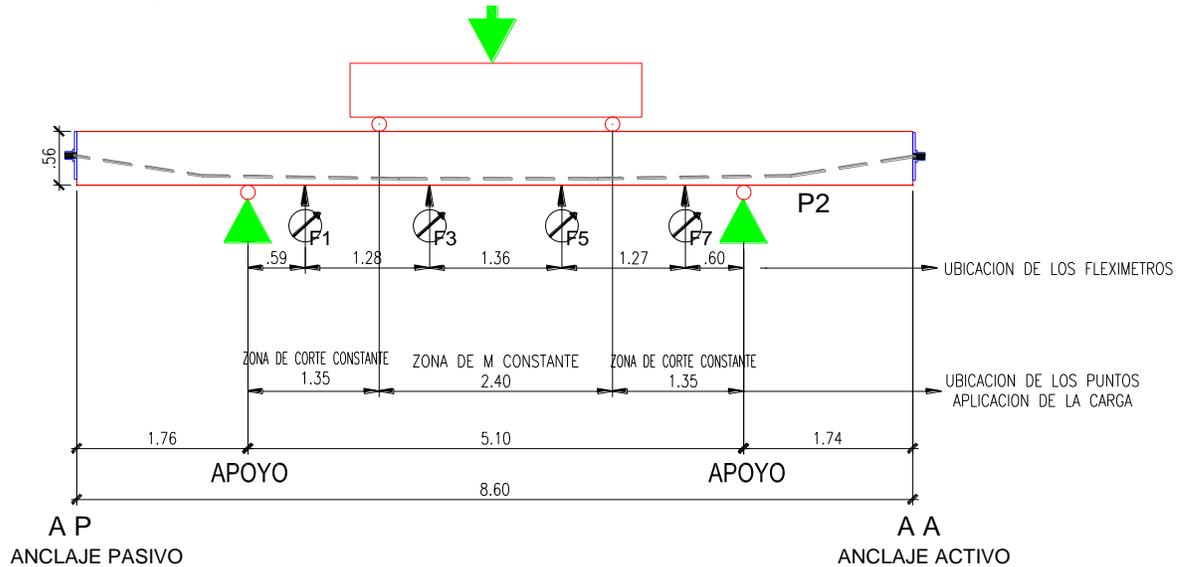


Figura 4. Ensayo del modelo del Tablero del puente. Esquema del ensayo .

Finalmente, se decidió colocar dos torones para cubrir una tensión máxima efectiva de 28 ton y efectuar varias acciones sobre el modelo, las cuales se describen a continuación. En primer término, se procedió al cierre de la sección abierta en forma de U. En seis secciones del modelo se colocaron unas planchas de 6mm de espesor unida al modelo mediante 4 tornillos de alta resistencia insertados en el concreto de las vigas con ramplús metálicos expansivos (los cuales fueron previamente perforados en las vigas) Figura 5. En segundo término, se colocaron planchas rigidizadoras de acero que funcionan en cuatro secciones transversales como desviadores del cable y en los extremos como tapas de cerramiento del modelo. En la Figura 6, se muestra esquemáticamente las planchas transversales cuya forma es la indicada y con la ubicación de los huecos por donde pasaran los cables de pretensado. Los agujeros de la plancha, que actúan como guía del cable de pretensado, se les dio un acabado liso y redondeado para evitar daños en el cable.

El modo de fijación de las planchas que funcionan como desviadores de lo cables, fue mediante un cordón de soldadura, en el tope y la base de la plancha. También para ayudar a su colocación, se soldó un ángulo auxiliar por cada una de las caras, y contribuía a la rigidez de la misma actuando como costilla de refuerzo. A los agujeros de la plancha, que actúan como guías del cable, se les dio un acabado liso y redondeado, para evitar que sufriera daños el cable.

Los anclajes de los cables, se colocaron sobre las caras extremas del conjunto. Las tapas fueron colocadas sobre las caras de las secciones transversales de la viga y fijadas con la ayuda de un ángulo metálico y un pasador metálico soldado a otras partes de acero del conjunto. Sobre la plancha se soldó una segunda plancha, más pequeña cuya función es distribuir la carga que le

aplica el dispositivo anclaje de los cables. Se decidió vigilar el comportamiento de los cables de pretensado, colocándole a uno de ellos, un extensómetro, de tal manera, de poder registrar durante el ensayo las variaciones de la longitud del mismo, y de esta manera deducir, cuáles eran las variaciones de la tensión.

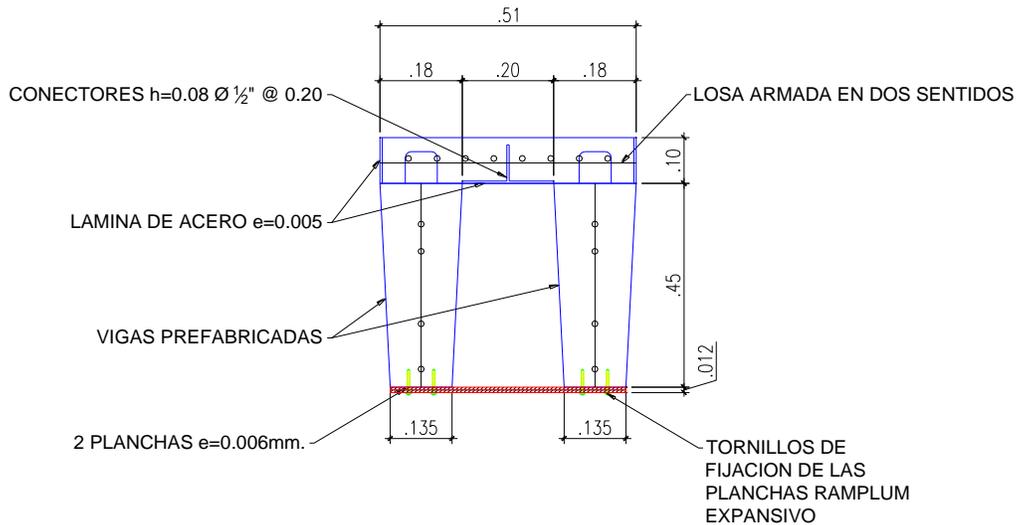


Figura 5. Sección transversal reforzada de Tablero de Puente.

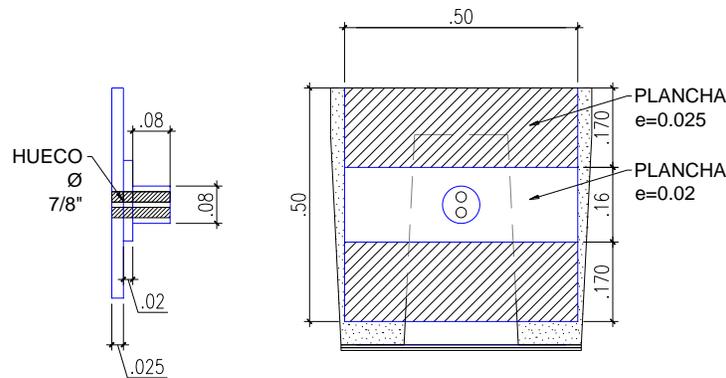


Figura 6. Sección transversal reforzada con plancha de anclaje en tablero de Puente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos 6 y 7 corresponden al sistema empleado en la propuesta de pretensado exterior. La carga Máxima Aplicada en el ensayo 6 fue de 72,2 ton, que corresponde a un Momento máximo de 48,7 ton-m. El ensayo se detuvo en este nivel, motivado a que ya se había superado el valor del momento resistente aspirado, lo que representa un incremento del 84%, y además que las deformaciones eran bastantes grandes y las grietas de flexión casi alcanzaban la losa. Se detuvo el ensayo y se inspeccionó cuidadosamente el modelo.

Para el Ensayo 7 se decidió comenzar un nuevo ciclo de carga y esta vez llevarlo a la rotura, el Momento máximo alcanzado fue de 50,3ton.m (90% de incremento), para este valor se observó el comienzo de una grieta en el concreto, a lo largo de uno de los tornillos de fijación de las planchas inferiores, que soportan las guías de los cables de pretensado, por lo que el ensayo se detuvo. Para este valor del momento, también las grietas de flexión, alcanzaron la zona de compresión, en la Figura 7 se muestra esquemáticamente el patrón de agrietamiento después del Ensayo.

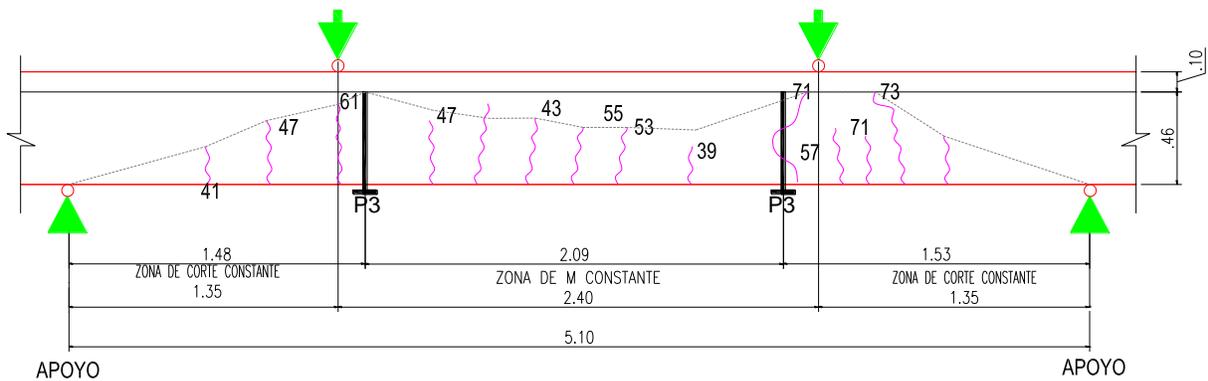


Figura 7. Esquema de agrietamiento del ensayo 7.

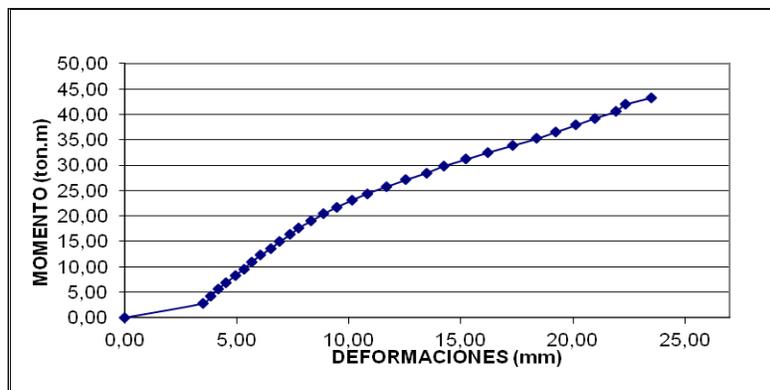


Figura 7. Grafico Momento-Deformación del ensayo 7.

Dado que la meta era incrementar el Momento máximo resistente en un 33%, este objetivo se cumplió ampliamente, pues se alcanzó un incremento por encima del 80%. Parece lógico pensar que si se hubiera colocado una fuerza e pretensado mayor, los resultados hubieran sido más beneficiosos, pero, no hay que olvidar que también se tendría que haber modificado el diseño de los desviadores y de los anclajes para soportar fuerzas mayores, por tanto, estos dos dispositivos son los principales limitantes de la fuerza P de pretensado. En lo que respecta a la resistencia a la fuerza cortante, el incremento en la resistencia es aún más evidente, ya que el efecto beneficioso de la compresión lateral hace que la resistencia al corte se incremente y las fisuras se abran más lentamente y disminuyan su inclinación.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado ampliamente la bondad de la técnica de reforzar con pretensado exterior, para lograr mejorar el comportamiento y la resistencia de un tablero de puente, que ha sido afectado por la acción de sobrecargas excesivas.

Se logra alcanzar incrementos de resistencia del orden de 80%. La rigidez pérdida con el incremento de la carga, se recupera en gran parte al descargar y en los ciclos sucesivos de carga, la historia de carga no representa una influencia decisiva.

Reforzar con planchas de acero presenta muchas ventajas, en cuanto a peso y versatilidad. La resistencia última a flexión después de la pretensión exterior, es independiente de la historia de carga previa al reforzamiento, pero, depende de la resistencia del concreto y de las propiedades particulares del pretensado exterior e interior.

REFERENCIAS

- [1].Tilly G.P. Performance and management of post-tensioned structures. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures & Buildings 152. año 2002.
- [2]. Chatelain J at al.. La reparación de puentes de hormigón pretensado. Métodos y ejemplos. I Simposio Nacional sobre conservación, rehabilitación y gestión de Puentes. Madrid 18-20 Junio 1991.
- [3]. Petrangeli MP. External prestressing for bridge repair: The italian experiencie. Recent Advances in Bridge Engieneering. Barcelona 1996.
- [4] Radomski W. Aplication of external prestressing for strengthening of bridge structures in Poland. Recent advances in bridge engineering. Barcelona 1996.