

THE GRIJALVA RIVER BRIDGE IN THE TOWN OF VILLAHERMOSA, THE STATE OF TABASCO, MÉXICO

Leonardo Fernández Troyano

Carlos Fernández Casado S.L.

C/ Grijalba, 9

28006 Madrid (SPAIN)

Tlfn: +34 91 561 58 49

e-mail: cfcsl@cfcsl.com

PROPIEDAD:	GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO. MÉXICO
PROYECTO:	CARLOS FERNÁNDEZ CASADO S.L./ MEXPRESA
CONSTRUCCIÓN:	I.C.A
TIRANTES, PRETENSADO, Y CARROS DE AVANCE:	MEXPRESA
ASISTENCIA TÉCNICA:	GRUPO BÁSICO MEXICANO

I.- PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PUENTE

La ciudad de Villahermosa, es la capital del Estado de Tabasco, la tierra de los Olmecas, situado en el sureste de México. Esta ciudad se encuentra dividida por varios ríos que la atraviesan en todas direcciones, y esto ha obligado a construir en ella muchos puentes. El río principal que cruza la ciudad es el Grijalva, y sobre él se ha construido este nuevo puente en una de las salidas de la ciudad, la que comunica con el aeropuerto; es el desdoblamiento de uno existente, un antiguo puente levadizo con grandes pilas en el río para alojar los contrapesos y la maquinaria del puente basculante, que ya no se abre nunca, y probablemente en un futuro próximo se sustituirá por uno igual al que hemos construido. Por estas razones, al estudiar el problema que plantea el desdoblamiento del puente, que siempre es una tema difícil por la perturbación que uno produce sobre el otro, no se ha planteado ninguna relación de homogeneidad entre el nuevo y el antiguo; se ha buscado, por el contrario, una solución de contraste.

Una condición previa, fijada por la propiedad al proyecto del nuevo puente, era salvar el río con un solo vano, y esto obliga a una luz principal de 116 metros. Como la rasante del puente está situada a poca altura sobre el cauce, era necesario adoptar una solución de canto mínimo, y esto se resuelve bien con un puente atirantado, porque permite reducir al mínimo posible el canto del tablero.

El nuevo puente se ha proyectado para dos carriles de circulación y una acera de peatones, con un ancho total de 10,80 metros útiles. En el puente atirantado la plataforma se amplía a 13,80 metros para poder alojar los anclajes de los tirantes.

El puente atirantado tiene una luz principal de 116 metros que salva el río, y dos vanos laterales a cada lado de 37+25 metros de luz. Se prolonga con unos accesos a cada lado formados por cuatro vanos de 3x20+15,5 metros de luz. La longitud completa del puente es de 391 metros.

El atirantamiento de cada torre es simétrico, y simétricamente se construyó el tablero desde ellas hasta cerrar en clave y llegar a las pilas extremas. Posteriormente se hicieron las pilas intermedias, que están formadas por dos cilindros situados bajo las vigas longitudinales. Estas pilas reducen la flexión de las compensaciones para las cargas vivas, y dan mayor rigidez al conjunto, lo que reduce además la flexión del vano principal para las mismas cargas.

La región de Tabasco tiene un índice alto de sismicidad, lo que da lugar a esfuerzos considerables en el conjunto del puente debidos a este fenómeno. En este puente, la rigidez de las torres permite resistir los esfuerzos longitudinales debidos al sismo en una sola de ellas. Por ello, el puente se ha fijado longitudinalmente en una de las torres, y se ha dejado libre en la otra, en las pilas intermedias, y en las pilas extremas. Transversalmente se ha fijado en las dos torres y en las pilas extremas.

II.- TABLERO

El puente atirantado tiene un ancho total de plataforma de 13,80 metros; esta anchura es más pequeña de la que normalmente tienen los puentes atirantados, porque la mayoría de ellos se proyectan para cuatro carriles como mínimo; esta pequeña anchura permite reducir al mínimo el canto del tablero, porque en los puentes atirantados de mayor anchura el canto está más condicionado por la flexión transversal que por la longitudinal, independientemente de la luz del puente.

El tablero está formado por dos vigas longitudinales de 0,80 metros de canto y 2 metros de ancho, con sección maciza, unidas por diafragmas transversales y por la losa superior, aunque debido al reducido canto del conjunto, el tablero parece más una losa nervada que un tablero de vigas longitudinales y diafragmas transversales.

Las vigas longitudinales tienen un pretensado longitudinal variable, con un máximo de 14 unidades de 19 $\varnothing$ 0,6" por viga longitudinal, en el centro del vano principal; los diafragmas transversales están pretensados con una unidad de 15 $\varnothing$ 0,6" cada uno.

Las unidades de pretensado longitudinal se anclan en cajetines laterales a la viga, en su lado interior. Estos cajetines obligan a dejar una abertura provisional en la losa junto a la viga para poder colocar los gatos de tesado. Estas aberturas en la losa se cierran una vez tesados y sellados los cables.

Además del pretensado longitudinal situado en las vigas, en la losa superior se añade un pretensado para la construcción formado por 6 barras $\varnothing$ 36. Estas barras se anclaban y se prolongaban en todas las dovelas para que la dovela en punta durante la construcción tuviese el pretensado debido a esas barras. Una vez terminados los voladizos, las barras se soltaron en las zonas sobre pilas y se dejaron activas en la zona central del vano principal y en los extremos de las compensaciones.

III.- TORRES

La luz relativamente pequeña de este puente entre los atirantados, ha permitido plantear una solución singular, dando máximo protagonismo a las torres, que tienen una configuración espacial, porque se abren en V en el alzado del puente, y se cierran en A en el plano transversal.

A pesar de esta aparente complicación formal, las torres son sencillas, porque están formadas por cuatro fustes de hormigón armado de sección rectangular, con 1,50 metros de ancho en un sentido, y variable de 1,90 a 1,40 metros en el otro.

La armadura está formada por barras longitudinales y cercos, salvo en la zona inferior donde son necesarias 4 unidades de 15 cables de $\varnothing$ 0,6" que se tesaban al llegar a los 12,50 y 17,30 metros de altura durante la construcción de los fustes.

Las dos V de la torre están unidas por una viga transversal situada bajo el tablero, que sirve a éste de apoyo vertical en ambas torres, y de apoyo longitudinal en la torre fija. El tablero se apoya también transversalmente en las torres mediante apoyos verticales.

La cimentación de las torres y las pilas es profunda, y se ha resuelto con pilotes hincados, hechos con tubos metálicos, sistema muy frecuente en México porque son los mismos tubos que se utilizan normalmente para las conducciones del petróleo.

IV.- TIRANTES

La forma de la torre en V obliga a que los tirantes tengan tres alineaciones, dos inclinadas que van de los brazos de la V al tablero, y una horizontal entre los brazos de la V. Los haces de los tirantes están situados en planos inclinados, definidos por los brazos de la V; cada haz tiene cinco tirantes paralelos.

La organización de las torres y de los tirantes obliga a hacer los tirantes pasantes en los fustes de las torres mediante sillas, porque si se interrumpieran en ellos, sería necesaria una cantidad y complejidad de anclajes que haría esta solución inviable.

Este problema nos ha llevado a estudiar un sistema de sillas que permita poner en carga los tirantes desde los anclajes del tablero sin coacciones en la torre; fijar posteriormente los tirantes a la torre para la carga muerta y las cargas vivas; y poder sustituir los tirantes sin ninguna alteración del tablero y las torres. Esto se ha conseguido haciendo las sillas mediante un doble tubo, uno exterior unido al hormigón de la torre y otro interior libre, donde se alojan los cables de los tirantes. Los cables se ordenan dentro del tubo curvo interior mediante tres centradores, y se inyectan en la longitud del tubo previamente a su tesado, para asegurar que la trayectoria de los cables sigue siendo curva una vez tesados. En los extremos de las sillas, fuera de la torre, se sitúan unos anclajes pasantes para resistir las variaciones de carga en los tirantes producidas por las cargas vivas. Estos anclajes se fijan a la torre mediante una rosca que los solidariza con el tubo fijo de la silla, conectado al hormigón de la torre mediante chapas taladradas. Los anclajes pasantes consisten en unos cilindros metálicos con nervios anulares interiores que, una vez tesados los tirantes, se rellenan con resina.

Al ser los tirantes de cada haz paralelos, todas las piezas de las sillas son iguales.

En el caso de resultar necesario sustituir un tirante, es necesario soltar en primer lugar los anclajes del tablero; después se sueltan las roscas que unen los anclajes pasantes a las torres, se cortan los cables, y se sacan los tubos interiores de las sillas.

Los tirantes están formados por cables $\varnothing 0,6''$; el número de cables por tirante varía de 23 los más largos y 24 todos los demás.

V.- CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE ATIRANTADO

Los dos elementos fundamentales del puente, torre y tablero, se construyeron por sistemas clásicos en los puentes atirantados.

La construcción de la torre, a pesar de su aparente complejidad formal fue sencilla, porque se construyó con encofrados trepadores independientes, uno por fuste, que se elevaron

libremente, sin necesidad de ningún arriostramiento provisional, hasta unir dos a dos en coronación.

El paso de los tirantes tampoco planteó ningún problema durante construcción, porque únicamente era necesario situar con precisión en los fustes los tubos exteriores de las sillas de los tirantes definitivos, y los tubos curvos simples de los tirantes provisionales.

El tablero del puente se ha construido por voladizos sucesivos hormigonados in situ mediante carros de avance, avanzando simétricamente desde cada torre hacia el centro del vano principal y hacia las pilas extremas. Las dovelas tenían una longitud de 3,30 metros, y los anclajes de los tirantes en el tablero están espaciados 10 metros; por ello entre cada dos dovelas con tirante había dos sin atirantar. La distancia de 10 metros entre tirantes definitivos y el reducido canto del tablero, ha obligado a atirantar provisionalmente las dovelas sin tirante, para reducir al mínimo los momentos flectores de los voladizos durante la construcción. Por ello, entre cada dos tirantes definitivos se colocaban dos tirantes provisionales, paralelos a ellos, que se retiraban al tesar el tirante definitivo siguiente. Estos tirantes provisionales estaban formados unidades de pretensado normales de 9 cables $\varnothing$ 0,6" que pasaban por unos tubos curvos situados en las torres, y se anclan en el tablero mediante un anclaje situado en el diedro que forma el diafragma transversal y la cara inferior de la losa.

Durante la construcción de los voladizos atirantados, además de los tirantes provisionales, fue necesario un pretensado provisional, formado por 6 barras $\varnothing$ 36 alojadas en la losa, que se iban empalmando en cada dovela. Este pretensado se aprovechaba como definitivo en unas zonas, y en otras era necesario soltarlo. Una vez cerrado el puente se añadió el pretensado definitivo.

El ritmo de construcción de los voladizos fue muy rápido, del orden de cuatro días por dovela, porque la sección transversal del tablero y su armado son sencillos; se trata de una losa nervada de 0,80 metros de canto con un pretensado longitudinal recto. Por ello cada dovela se ferrallaba y hormigonaba en un día.

Como hemos dicho, el puente se construyó mediante voladizos sucesivos simétricos hasta llegar a la clave y a las pilas extremas. Una vez cerrada la clave y apoyados los vanos de compensación en las pilas extremas, se hormigonaron las pilas intermedias, que se fijaron al tablero mediante un pretensado vertical. Estas pilas, como hemos visto, actúan únicamente para la carga muerta y las cargas vigas.

VI.- ACCESOS

El puente principal se prolonga en ambos extremos con unos accesos, formado cada uno de ellos por tres vanos de 20 metros de luz y uno extremo de 15,5 metros.

Un problema que se plantea con frecuencia entre el puente atirantado, es la relación de homogeneidad entre el puente atirantado y sus accesos. Con frecuencia el puente principal tiene menos canto que los accesos, y una sección totalmente diferente, lo produce una discontinuidad, en ocasiones excesiva, en el conjunto. En este puente, los accesos son cortos, y esto nos ha llevado a mantener en ellos el mismo tablero del puente principal, formado por dos vigas longitudinales en los bordes, y vigas transversales entre ellas. Sin embargo, las pilas de los accesos solo podían tener una columna central, lo que da lugar a una estructura poco adecuada, porque las cargas se transmiten primero de la losa a las vigas de borde, y al llegar a las pilas hay que transmitir las de las vigas de borde a la columna central mediante voladizos transversales; esto hace que el comportamiento resistente de la estructura no sea lógico, pero como la dimensión de los accesos es pequeña, hemos considerado prioritario conseguir una homogeneidad entre el puente atirantado y sus accesos. La única diferencia entre el tablero del puente atirantado y de los accesos, es que éstos tienen un ancho de 12 y el puente atirantado de 13,80 metros, diferencia debida a los anclajes de los tirantes.

La estructura de los accesos es un pórtico múltiple, porque el tablero y las tres pilas donde se apoya son solidarios. En la pila extrema se apoya también, el puente atirantado, pero con libre movimiento longitudinal.

La rigidez del conjunto es función en gran parte de la flexibilidad de la cimentación, lo que hace que el “efecto pórtico” en el conjunto pilas-tablero, sea pequeño y esto ha permitido solidarizar pilas y tablero, sin que en las pilas se produzcan flexiones excesivas, fundamentalmente por efecto de la temperatura, retracción y fluencia. Esta solidarización de las pilas y el tablero es también conveniente para el comportamiento de los accesos frente a los efectos sísmicos.