

PUENTE JUAN BOSCH SOBRE EL RÍO OZAMA EN SANTO DOMINGO

I.- INTRODUCCIÓN

Dichosa la ciudad que está situada en el borde del mar y en las orillas de un río. Esta dicha la tiene plenamente Santo Domingo, una ciudad situada en un lugar paradisíaco. Por ello, construir en la ciudad de Santo Domingo, y especialmente sobre el río, obliga a tener muy en cuenta todos esos valores de la ciudad. Deberemos tratar de que la nueva obra esté al nivel de su entorno, aunque éste se encuentre actualmente bastante degradado, pero fácilmente recuperable.

Pero la dicha de estar situada a las orillas de un río de la envergadura del Ozama, tiene también su costo para la ciudad. El río la divide en dos partes cuya única comunicación entre ellas son los puentes.

La ciudad tiene, además del recién construido puente Juan Bosch, tres puentes principales sobre el río Ozama: el Ramón Matias Mella, el Juan Pablo Duarte, y el Francisco del Rosario Sánchez; además tiene un puente flotante cerca de la desembocadura del río, y otros dos puentes más, aguas arriba de los anteriores, uno sobre el río Ozama y otro sobre el río Isabela. Todos ellos son puntos de congestión del tráfico, porque en ellos se concentra todo el paso de un lado al otro del río.

El puente Ramón Matias Mella, conocido en la ciudad como el de la Bicicleta, el más próximo al mar, se construyó con dos carriles, y se desdobló hace algunos años, no muchos después de construir el primero, porque era un cuello de botella en el tráfico de la ciudad.

El mismo problema se ha planteado con el puente Juan Pablo Duarte, un puente colgante construido en los años 50 del siglo XX, que estaba constantemente congestionado. Por ello el desdoblamiento se ha hecho imprescindible.

El puente Juan Bosch, desdoblamiento del puente Juan Pablo Duarte, es un claro ejemplo de una obra pública necesaria, y del efecto que una obra concreta como un puente, puede tener en el funcionamiento de una ciudad.

Como hemos dicho, este puente es el desdoblamiento de un puente colgante metálico construido en los años 50, con un vano principal de 180 metros de luz. Desdoblar un puente es siempre un problema difícil de proyecto, porque ambos puentes

se estorban, tanto física como visualmente. Siempre veremos el conjunto de los dos, aunque en cada uno de los lados dominará el puente que tengamos más próximo.

El proyecto del nuevo puente se ha basado en dos ideas fundamentales: en primer lugar hacer un puente actual, es decir, con las tecnologías de este momento, principios del siglo XXI, y en segundo lugar hacer un puente que armonizara con el actual, el puente colgante existente. Esto nos llevó a desechar la idea de duplicar el puente colgante, porque en la situación actual de la tecnología de los puentes, una luz de 180 metros es excesivamente pequeña para un puente colgante. Por ello se ha proyectado un puente atirantado de hormigón, que nos parece el más adecuado para estas luces.

La armonización del nuevo puente con el puente colgante ha llevado a hacer un puente atirantado singular, porque el nuevo puente se ha proyectado con el mismo contorno del colgante, y para ello las torres del puente atirantado se han hecho de la misma altura que las del colgado; de esta forma se consigue que el área ocupada por el sistema de cables de uno y otro puente sea la misma. La visión conjunta de los dos puentes es la superposición de los dos sistemas de cables: el cable parabólico con sus péndolas, del puente colgante, y los tirantes del puente atirantado. Esta visión es análoga a la del puente de Brooklyn en Nueva York, donde se utilizaron conjuntamente los dos sistemas de cables, cable parabólico y péndolas, más tirantes.

Hacer un puente atirantado con la misma altura de torres que un puente colgante da lugar a un puente singular, porque normalmente, para la misma luz, las torres de un puente colgante tienen aproximadamente la mitad de altura de las de un puente atirantado. Por ello, este puente, dentro de los atirantados, pertenece a una tecnología especial, con altura de torres reducida, que se llama “*puentes de pretensado extradorsal*”.

Al ver el puente terminado, creemos que la armonización conseguida por esa coincidencia de los contornos de ambos puentes, es un valor real del conjunto, y no solo un planteamiento teórico.

II.- DESCRIPCIÓN DEL PUENTE

El nuevo puente, como hemos dicho, es el desdoblamiento del Puente Juan Pablo Duarte, y por ello se ha situado lo más cerca posible de él. La distancia entre ambos puentes es la menor que ha permitido la construcción del nuevo, especialmente

de las cimentaciones de las torres que están alineadas con las del puente anterior. La distancia entre los bordes de los dos puentes es de 15,85 metros.

Esta proximidad de los dos puentes hace que haya una perturbación de uno en el otro, especialmente en lo que se refiere al efecto del viento, porque hay que tener en cuenta que este puente está situado en una zona de huracanes. La posible interferencia entre los dos puentes ha obligado a hacer ensayos en túnel de viento mediante modelos seccionales. En estos ensayos se han estudiado los dos puentes por separado y el efecto de uno sobre el otro. La conclusión de estos ensayos ha sido que no hay problemas de inestabilidad por efecto del viento en ninguna de las situaciones estudiadas.

La luz del nuevo puente es la misma del Juan Pablo Duarte, 180 metros, y tiene un ancho de 30,50 m que corresponden a cuatro carriles de circulación, dos posibles vías de ferrocarril urbano y aceras para peatones de 3,50 m.

La longitud total del viaducto es de 850 m, que se divide en tres partes: 2 viaductos de acceso de 233 m en el lado oriental y de 88,2 m en el lado occidental. Estos dos viaductos están formados por tableros de vigas simplemente apoyadas, con luces entre 25 y 30 m.

Entre los dos viaductos se encuentra el puente sobre el río Ozama propiamente dicho, que tiene una longitud de 347 metros.

II.1.- Puente principal

El puente atirantado se divide en 5 vanos, un vano central de 180 metros de luz sobre el río, y dos vanos laterales a cada lado de 47,5 y 36 metros de luz. El atirantamiento desde las torres es simétrico; los tirantes principales se anclan en el vano central y los de compensación en los dos vanos laterales.

En el proyecto de este puente, además de la singularidad del atirantamiento, han influido otros factores que han sido fundamentales en su configuración.

El ancho del tablero, de 33,50 metros, es bastante mayor del normal en los puentes atirantados. Sabemos que en un puente atirantado con tirantes anclados en los bordes del tablero, generalmente es el ancho el que define su canto, porque con frecuencia la flexión transversal es mayor que la longitudinal. En este puente, al tener un atirantamiento más chato, y por tanto menos eficaz, la flexión longitudinal y la transversal son del mismo orden de magnitud y esto nos ha llevado a un canto del tablero de 2,50 metros, que crece en la zona de los apoyos sobre las torres hasta un máximo de 4,0 metros. Las vigas transversales tienen todas el mismo canto de 2,50

metros, igual que las vigas longitudinales, más 0,30 metros debidos al bombeo del tablero.

La organización transversal del tablero que se ha adoptado es clásica en los puentes atirantados en los bordes: dos vigas longitudinales laterales que resisten la flexión longitudinal, y vigas transversales entre ellas que resisten la flexión transversal.

Las vigas longitudinales son cajones de 2,50 metros de canto y 4 m de ancho, y las vigas transversales son diafragmas de 2,80 m. de canto.

El ancho del tablero y la pequeña altura de las torres, nos ha llevado a plantear éstas como pilas independientes por encima del tablero, unidas mediante una riostra bajo él. Las pilas independientes admiten esfuerzos transversales reducidos, y por ello los tirantes se deben situar en los planos verticales que contienen los ejes de las pilas de las torres. Esto lleva a anclar los tirantes en el borde exterior de los cajones laterales, y que éstos, al pasar por las torres tengan que aproximarse al eje del puente para evitar perder sección al pasar entre las pilas. Esta aproximación al eje se ha hecho mediante una directriz curva en planta y una discontinuidad angular en la línea de apoyos sobre la torre. Se ha mantenido plano el paramento exterior de los cajones, por lo que éstos tienen un ancho variable, que se estrecha al pasar por la torre. Los esfuerzos que se producen en los cajones longitudinales debidos a su desviación en planta se resisten mediante las vigas transversales.

Un tema importante en el proyecto de los puentes atirantados es la separación longitudinal entre los anclajes de los tirantes en el tablero, o lo que es lo mismo, el número de tirantes en cada haz.

En los primeros puentes atirantados, tanto metálicos como de hormigón, se utilizaban pocos tirantes con anclajes muy separados. Los tirantes se concebían como apoyos elásticos aislados de un puente de luces medias. Este planteamiento inicial fue evolucionando, pasando de la idea de apoyos aislados, a la idea de apoyo elástico quasi-continuo del tablero en los tirantes, de forma que la flexión en el tablero debida a la luz entre anclajes sea despreciable respecto de la flexión generada por la elasticidad de los apoyos, que se debe al alargamiento de los tirantes. Este planteamiento ha hecho evolucionar los puentes atirantados, tendiendo a acercar los anclajes y por tanto aumentando el número de tirantes, hasta conseguir que la luz entre anclajes de una flexión poco significativa en el conjunto.

Otra ventaja fundamental de disminuir la distancia entre los anclajes de los tirantes se consigue en el proceso de construcción, si el puente se construye por

voladizos sucesivos atirantados. Con mucha frecuencia los mayores momentos flectores en el tablero de un puente atirantado construido por voladizos sucesivos, se producen durante el proceso de construcción, debidos al voladizo en punta que se produce entre tirante y tirante. La longitud de este voladizo es función exclusiva de la distancia entre los tirantes, y por ello, cuanto menor sea esta distancia, menores serán los momentos flectores durante el proceso.

En el puente de *Ozama* tenemos, como hemos visto, un tablero de gran rigidez, y esto hace que la distancia óptima entre tirantes sea mayor que en un tablero de poca rigidez. Por ello hemos adoptado una separación entre anclajes en el tablero de 10 metros, distancia normal en los puentes metálicos, y un poco mayor de las que se utilizan normalmente en puentes de hormigón.

Ahora bien, esta separación de 10 metros entre tirantes, multiplicada por el ancho del tablero y sumada al efecto de la inclinación de los tirantes que, como hemos visto, es menor que la de un puente atirantado normal, da una carga por tirante muy grande, del orden del doble de la máxima admisible por los tirantes de mayor número de cables de 0,6" que se utilizan normalmente en los puentes atirantados, y se incluyen en los catálogos. Esto ha obligado a desdoblar cada tirante en dos unidades.

Al dividir cada tirante en dos unidades caben dos posibilidades: o bien duplicar el número de tirantes, separando los anclajes cada 5 metros, o bien hacer tirantes dobles, es decir, darles un carácter unitario a los dos tirantes en que se desdobla cada unidad inicial. Por varias razones hemos preferido formar una unidad con cada pareja de tirantes, manteniendo una separación entre anclajes. En la torre se anclan en la misma horizontal y en el tablero en la misma vertical; por ello hay un giro relativo entre los dos tirantes que les da una visión cambiante, pero siempre unitaria.

En todo puente de gran luz, el proceso de construcción es decisivo en el proyecto y por ello en este puente también lo ha sido. En los puentes atirantados caben diferentes procedimientos de construcción, pero la mayoría de ellos, y todos los de gran luz, se construyen por voladizos sucesivos atirantados. En este puente, situado sobre un río de más de 150 metros de ancho, era obligado construir el vano principal por este procedimiento, pero los vanos laterales, situados sobre tierra, se podían construir con voladizos simétricos y compensados de los del vano principal, o hacerlos previamente sobre una cimbra. Se adoptó esta segunda solución, y se construyeron sobre cimbra los dos vanos laterales de cada margen, más 17,5 metros de longitud del vano principal, en voladizo desde cada torre. La construcción in situ nos llevó a variar la sección del

tablero en los vanos laterales, pasando a una sección de losa aligerada, con diafragmas transversales internos. Esta solución es más fácil de encofrar y de construir sobre cimbra, y por ello resulta más económica, aunque pese más que la de cajones longitudinales y diafragmas transversales. Pero en este caso no importa que sea más pesada porque, como hemos visto, las compensaciones del vano principal se dividen en dos vanos de 47,5 y 36 metros cada uno, y por tanto, al tener un apoyo intermedio, un peso adicional no obliga a aumentar los tirantes de compensación. Estos estarán dimensionados exclusivamente por la compensación del vano principal. Cerca de las torres, en el vano de compensación se pasa de la sección losa a la sección antes descrita de cajones laterales y diafragmas transversales, más ligera que la losa.

Otro factor fundamental en el proyecto ha sido el efecto de las acciones sísmicas. El grado sísmico 3, que es el de esta zona, ha condicionado significativamente el proyecto, tanto del puente principal como de las pilas del viaducto de acceso.

En el puente principal, los elementos que deben resistir las acciones sísmicas son las torres. El efecto transversal, mediante el pórtico formado por los pilares y la riostra que las une bajo el tablero, que ha requerido un canto de 5 m para resistir estos efectos. Longitudinalmente ha resultado necesario fijar el tablero en las dos torres para repartir el efecto sísmico entre las dos. Esta fijación se ha hecho mediante vinculaciones articuladas, tanto longitudinal como transversalmente. La fijación del tablero a las torres ha obligado a resistir en ellas los esfuerzos debidos a las deformaciones del tablero a causa de la temperatura, retracción y fluencia, pero a pesar de ello esta solución resultó mucho más conveniente que la de resistir todas las acciones sísmicas longitudinales en una sola torre. Las dimensiones de las pilas que forman la torre son en gran parte debidas a las acciones sísmicas, salvo las cabezas superiores que se deben a los anclajes de los tirantes.

Los tirantes se anclan en los paramentos de la torre, y ello obliga a cruzarlos dentro de ella, y por tanto a hacer diferentes los tirantes delanteros de los traseros, porque la pareja de delanteros se anclan por dentro y los traseros por fuera, para poder cruzarlos. Esto hace que la pareja de tirantes delanteros sea diferente de la pareja trasera simétrica, pero en ambos casos la resultante de la pareja está contenida en el plano vertical de la pila de la torre.

Los vanos laterales más el arranque del vano central se construyeron in situ, y la mayor parte del central por voladizos sucesivos mediante dovelas de 5 metros de longitud. Las dovelas pares tienen tirante y las impares no. Una vez hormigonados los

vanos laterales, se dejan apoyados en pilas provisionales, que se van desmontando a medida que avanza el vano central y se van poniendo en carga los tirantes.

El avance en voladizos sucesivos da lugar a una flexión en punta predominantemente negativa. Esto ha obligado a introducir unas barras de pretensado provisionales bajo la losa del cajón para resistir esta flexión. Las barras son exteriores y se van desmontando según avanza el tablero. Una vez cerrada la clave se introduce el pretensado de continuidad que es el fundamental en el puente.

II.2.- Viaductos de acceso

El puente principal sobre el río Ozama se prolonga con unos viaductos de acceso en ambas márgenes. Estos viaductos son gemelos de los del puente principal.

El viaducto de acceso en la margen izquierda tiene 233,00 m de longitud, distribuida entre 9 vanos, y el de la margen derecha tiene 68,20 m, distribuidos en 3 vanos. Estos viaductos se han resuelto con tramos simplemente apoyados, hechos con vigas prefabricadas de 25 m de luz. La continuidad formal entre las dos estructuras se consigue igualando los cantos de ambas sobre la pila donde empalman, y sobre todo con la imposta, que se mantiene invariable a lo largo de todo el puente. El tablero de vigas y el extremo del puente atirantado tienen un canto de 1,65 m incluyendo vigas, losa y aceras. En el vano principal del puente y en los adyacentes, el tablero varía de 2,50 m a 4 m.

Las pilas de los tableros de vigas se han hecho con pórticos transversales de tres columnas unidas superiormente por un cargadero donde se apoyan las vigas. Las columnas tienen sección en cruz igual que las torres, y están unidas hasta cierta altura por un diafragma que rigidiza el conjunto para los efectos sísmicos.

IV.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

IV.1.- Cimentación

La cimentación de las pilas 1 a 4 se resuelve mediante una cimentación flotante constituida por micropilotes de 200 mm de diámetro y 16 m de longitud.

La cimentación de las torres de atirantamiento es directa, sobre el sustrato rocoso, situado a una profundidad comprendida entre 5 y 8 m. Como estas cimentaciones se encuentran bajo el agua, se construyeron recintos de tablee catas con

varios arrostramientos. La excavación se realizó con retroexcavadora, que se introducía en los recintos con una grúa, previo agotamiento de los mismos. Posteriormente se ejecutó un tapón de hormigón en cada uno de los recintos y se construyeron las zapatas, de 18,50x14,75 m y con una espesor máximo de 4 m

El resto de las cimentaciones son directas sobre roca.

IV.2.- Torres de atirantamiento

Las torres de atirantamiento se realizan en hormigón armado H-400 y H-450, dependiendo de las zonas. Están constituidas por pórticos en H de 62,61 m de altura, separados 32,60 m y unidos por una viga riostra de 5 m de canto y 1,5 m de ancho. La parte superior de la riostra se sitúa a 28,75 m.

Arrancan con una sección circular de 5,48 m, para pasar a una sección en cruz con caras curvas a partir de 11,69 m.

La construcción de los fustes se realiza con encofrados trepantes con una altura de trepa de 4 m aproximadamente. El encofrado está formado por ocho módulos, cuatro de esquina y cuatro para las caras curvas. La superficie encofrante es de contrachapado fenólico, que apoyan en unas vigas metal-madera, y que a su vez transmiten las cargas a unas correas metálicas.

Cada uno de los módulos de las caras curvas se apoya en dos consolas, mientras los de esquina se apoyan en unas consolas especiales. El conjunto del encofrado está dotado de tres niveles de plataformas de trabajo que cierran completamente el perímetro de las torres.

IV.3.- Pilas

Además de las torres principales, el puente tiene 14 pilas más de hormigón armado H-400, formadas por tres fustes de sección en cruz y ancho variable en toda su altura. Estos fustes están unidas en su cabeza por un cargadero, y en su base por un diafragma.

Los fustes y diafragmas se han construido con un encofrado metálico, dividido en anillos de altura variable, para poder adaptarse a la geometría curva. Para la construcción del dintel se ha utilizado una cimbra a base de celosías metálicas, que cuelgan de los fustes, y sobre la que se apoya un encofrado metálico.

IV.4.- Tablero del puente principal

El problema fundamental de la construcción de este puentes es el paso del río Ozama. Los vanos laterales se construyen en dos fases.

En la primera fase se construye la zona de losa aligerada, que comprende el vano lateral extremo, más una zona del vano lateral próximo a las torres. Esta fase se deja apoyada en las pilas definitivas, más dos apoyos provisionales, uno en el centro del vano extremo y otro en el final de la fase. En la segunda fase se construye el resto del vano lateral próximo a la torre y los 17,50 m iniciales del vano central. En esta fase se disponen otros dos apoyos provisionales, uno en el extremo de la fase en el vano central y otro simétrico de éste respecto de la torre.

A partir de esta zona sobre cimbra, el tablero se construye por voladizos sucesivos, contruidos in situ mediante carro de avance. Este carro tiene una longitud de dovela de 5 m, que es la distancia entre diafragmas transversales y la mitad entre tirantes. Dadas las dimensiones del tablero, este carro es probablemente, uno de los más grandes utilizados hasta la fecha en la construcción de puentes. El avance en voladizo, se hace mediante un pretensado provisional, que en parte se suelta una vez terminado el puente. Una vez que el carro llega a la posición de los tirantes, se colocarán éstos a la carga preestablecida y se continuará avanzando hasta cerrar en clave.

Los apoyos provisionales se van desmontando a la vez que avanza el voladizo. Los dos de la fase 2 se desmontan una vez tesados los primeros tirantes, y los otros dos según se van tesando los tirantes que quedan sobre ellos.