



Fotos: www.zav.es/puentetercermilenio/

Un nuevo puente para estrenar un milenio

Gregorio B. Mendoza

Fotos: Cortesía despacho Juan José Arenas.

La ciudad de Zaragoza, en España, da muestra no sólo del crecimiento de la urbe, sino de la relación, valor y reto que significa el convivir con el río Ebro, el más caudaloso del aquel país.

presencia marca la pauta del alto nivel exigido a los proyectos de infraestructura en curso como trenes de alta velocidad, aeropuertos y autopistas.

“Es un proyecto que en todos los sentidos llegó al límite debido a que Zaragoza está creciendo a una velocidad inesperada. Esta obra, sin duda, ayudará a afianzar la estructura vial planeada. Al mismo tiempo, mejorará los vínculos y la comunicación terrestre en la zona. El Puente del Tercer Milenio permite cerrar el tercer cinturón de circulación periférica de la ciudad, al mismo tiempo va a constituir la entrada del Ebro en la ciudad. La idea de que Zaragoza, debe probablemente al río su misma existencia me hizo pensar desde el principio en un gran puente convertido en pórtico urbano que recibiera las aguas del río con la mayor dignidad. Esto fue el antecedente directo de esta gran obra”, señala para CyT el autor de este puente, el ing. Juan José Arenas.

Las necesidades del presente y la capacidad del genio humano para dar –con audacia y creatividad– soluciones que visualizan el futuro son algunos de los factores que generaron la creación de una gran obra de ingeniería. Hoy, el Puente del Tercer Milenio ha comenzado a posicionarse como una de las grandes joyas de la ingeniería española. El grado estilístico con que fue construido sorprende y su



Foto: www.zav.es/puentetercermilenio/





Contexto

El diseño es una evolución de la tipología ya utilizada por Arenas con el Puente de la Barqueta, en Sevilla, realizado para la Exposición Universal de 1992. Se diferencia fundamentalmente en el tamaño (216 x 48 m respecto a los 168 x 30 m de Barqueta), y que nace de un material diferente para su construcción como es el concreto blanco, lo que repercute sobre las secciones, detalles, soluciones constructivas, y planteamientos de diseño. Consideraciones que, a decir de Arenas son una preocupación ineludible,

y parte de su lucha por dotar a las obras de ingeniería de los valores estéticos y arquitectónicos que hagan de los puentes piezas fundamentales de un paisaje urbano humanizado. Responsabilidad que en el caso del Puente del Tercer Milenio, el ingeniero siente con particular intensidad.

El lugar de la obra, que muestra una acusada curvatura, alentó también a plantear una estructura que salvara el cauce con una sola sección estructural, como garantía máxima de evitar problemas de inundaciones en una zona tan sensible y de imprevisible comporta-

miento hidráulico. La presencia de este importante río suponía un reto no sólo por su valor simbólico sino porque la solución debería permitir un desagüe sin problemas, lo cual llevó a elegir para el puente el utilizar un claro de concreto de más de 200 metros entre los ejes de pilas, ya que la longitud total que el puente alcanza es de 270 metros con sus respectivos vacíos laterales que permiten, además de contribuir al desagüe de la calzada principal.

“En el caso del Tercer Milenio, el parentesco con Barqueta es tan claro que no he tratado de disimularlo. No sé si la vida me ofrecerá aún la oportunidad de completar la serie, pero no me apuraría nada proyectar y construir el tercer modelo de esta familia de puentes. Lo que en todo caso sí me preocuparía es la dificultad que conlleva proyectar y construir un puente de este tipo, además de la responsabilidad que como proyectista uno carga al emprender un camino como éste donde, por cierto, las dificultades del Puente del Tercer Milenio han superado por mucho los esfuerzos y problemas que planteó el puente de Sevilla”.

Básicamente para salvar el cauce del río con una estructura de poca altura se requería un claro de aproximadamente 220 metros. Existieron dos alternativas: realizar un puente de “arco volando” sobre el tablero o un puente de tablero atirantado con cables rectos. Pese a que la solución ati-

La firma encargada

Fundada por Juan J. Arenas –catedrático de la materia Puentes, de la Universidad de Cantabria– la firma Arenas & Asociados nació con ese nombre en noviembre de 1999. El equipo integrante de este nuevo grupo –compuesto en su totalidad por jóvenes ingenieros– recoge toda la experiencia en diseño y construcción adquirida por el fundador en su vida profesional.

Experiencia que, en relación a los puentes, incluye tipologías tan variadas como los puentes construidos por voladizos sucesivos, puentes-celosías, puentes pórtico con pilas inclinadas, puentes de concreto pretensado, con tablero mixto, puentes arco clásicos, arcos con el tablero intermedio, arcos atirantados por el mismo tablero y puentes atirantados. Abarcando incluso ejemplos de puentes móviles y colgantes. Proyectos en los que se ha utilizado tanto el concreto como el acero estructural, y en los que ha habido que recurrir para su ejecución a todo tipo de procedimientos constructivos, como la flotación, la rotación del puente según un eje vertical o la rotación de las pilas de un puente pórtico según un eje horizontal transversal.

Entre los proyectos desarrollados hay edificios especiales como estadios, una peculiar bodega subterránea realizada con bóvedas laminares de concreto armado y la nueva Lonja de Pescado Fresco del Puerto de Santander cuya cubierta se ha resuelto sobreponiendo sucesivas losas de concreto de doble curvatura. Frente a quienes consideran que las obras públicas deben ser meramente funcionales, Arenas & Asociados practican la idea de que la belleza de cualquier construcción puede y debe sustentarse en el óptimo diseño y organización del conjunto y en las mejores relaciones entre sus diversos elementos.

rantada fue siempre sugestiva, el equipo de diseño se inclinó por el puente arco. Un tablero atirantado y simétrico es casi la suma de dos grandes volados de borde variable que funcionan como empotrados en los mástiles, requiriendo continuidad del tablero en sus respectivos vanos laterales y grandes bloques al final para servir como contrapeso. Un claro como el que se requería de 216 metros exigía elongaciones laterales del orden

del 40 % de su longitud, con lo que resultaba sumamente excesivo, pero sobretodo muy complicado, teniendo en cuenta que en la margen izquierda del Ebro no hay espacio suficiente para albergar tales dimensiones.

No es que un puente atirantado no fuera posible en este emplazamiento, sino que, como lo explica el ing. Arenas, habría que acortar el claro principal hasta unos 150 metros y los vanos laterales a unos 60 metros para que la solución fuera óptima. O, en su defecto ampliar el claro al máximo (180 m) y utilizar 45 metros en los volados laterales, e incrementar casi al doble los contrapesos finales. El puente resultante, además de menos respetuoso con el río que el realizado, hubiera supuesto una estructura de menor riqueza geométrica y de menor calidad urbana.

En alzado, el puente urbano ofrece un ángulo convexo, con su vértice centrado en el eje del cauce. Aquí se planteó un ajuste circular de 5 metros de radio, cubriendo los 270 metros de estructura, lo que supone una pendiente en sus tramos iniciales del 2.7 %. Es una pendiente suave que genera una pendiente media a lo largo del puente de 1.35% con la cual se resuelve sin problemas el desagüe pluvial.

El Puente del Tercer Milenio es la obra cumbre de uno de los mejores ingenieros de España, que superó las fases más críticas relacionadas con la cimentación. Hasta 50 pilotes se reparten entre las dos orillas y el cauce, a profundidades que oscilan entre los 20 y los 50 metros de profundidad. De su resistencia a los esfuerzos sometidos depende el armado superior, de grandes proporciones: el tablero mide 270 metros de longitud y 44 metros de ancho. "Desde el principio, pensé y defendí que el puente

de Zaragoza, a diferencia del material acero de Sevilla, debería ser de concreto. Barqueta se planteó en acero porque en el lugar –que es el viejo Guadalquivir– era posible construir el puente en la orilla y girarlo posteriormente, para dejarlo en su posición definitiva gracias al poco peso de la estructura. En contraparte, el uso del concreto adquiere sentido en Zaragoza porque mejora el funcionamiento de amortiguación dinámica de la estructura frente a vibraciones producidas por el tráfico y el viento, importantes en un puente de este claro, dando lugar además a un importante ahorro económico respecto a la solución en acero. El concreto de alta resistencia permite a su vez reducir el volumen y, por tanto, el peso de las piezas; su color blanco confiere al puente la calidad visual y la nobleza material que buscamos que perdure en el tiempo, teniendo en cuenta que el concreto blanco resiste mejor que el convencional el paso de los años ya que en la selección de las materias primas para fabricarlo es mucho más estricta que con el gris tradicional, debido a que deben ser de naturaleza muy pura y con cantidades mínimas de óxido de hierro".

El concreto blanco facilitó de cierta manera el poder alzar esta estructura a 36 metros de altura y sustentar el tablero gracias a un entramado de cables de acero que al momento de quitar los apoyos provisionales soportarían una carga total de 16, 000 toneladas que contemplan básicamente la carpeta de rodamiento y las dos pasarelas laterales acristaladas que recorren el puente.

Proceso constructivo

Una vez concluidos todos los análisis que ameritaba esta estructura

Ficha Técnica

Nombre de la obra: Puente del Tercer Milenio.

Ubicación: Zaragoza, España.

Realización: 2002-2008.

Ciente: Ayuntamiento de Zaragoza.

Proyecto: Arenas y Asociados, Ingeniería de Diseño.

Construcción: Grupo ACS.

Asesoría y urbanismo: SERS Consultores en Ingeniería.

Inversión: 65 millones de euros.

Peso del tablero central aproximado: 2,000 ton.

Peso del arco: 3, 000 ton.

Resistencia: este Puente fue diseñado para soportar rachas de viento de hasta 140 kilómetros por hora.

Materiales: Cemento blanco: según fabricante, cemento blanco CEM BL 52,5 N o R, difiriendo en resistencia mecánica (>70- >75 MPa) y calor de hidratación (71-103 cal/g a 5 días).

Aditivos y adiciones: De color claro, descartando el habitual humo de sílice en concretos de alta resistencia, como superfluificantes o adiciones activas (adición de sílice ultrafina).

Volúmenes de concreto:

HA-75/PB/20/Ila Blanco 4280 m³.

HP-60/PB/20/Ila Blanco 7398 m³.

HA-30/PB/20/Ila Blanco, pilas y estribos 5510 m³.

Total concreto blanco usado: 17,188 m³.

HA-30/BF/20/Ila+Qb cimentaciones 4297 m³.

Total concreto usado: 21,485 m³.



se inició el procedimiento constructivo. Mientras dos equipos especializados en cimentaciones profundas hacían las excavaciones de las pilas y del estribo de la margen derecha, un tercer equipo se ocupaba de la ejecución de los pilotes y de los apoyos provisionales desde una plataforma de tierras colocada provisionalmente en el sitio. Según iban terminando los trabajos en la margen derecha, éstos fueron trasladados a la margen contraria para ir terminando esta actividad. Para los apoyos de la margen izquierda, fue necesario retirar la primera plataforma para poder trabajar esta nueva zona sin tener problemas con el cauce del río.

Siguiendo el mismo orden en la margen derecha, se comenzó a atacar la obra civil y el montaje de los moldes dentro del parque de

prefabricación y empuje del tablero de concreto. El procedimiento constructivo de este elemento, donde se encuentran concentradas las doce dovelas, se conoce como empuje o lanzamiento y consiste en que a medida que las dovelas se van construyendo, se unen a la ejecutada anteriormente y se desplaza todo el conjunto hacia la margen opuesta apoyándose en las pilas provisionales para dejar espacio para construir una nueva dovela.

El lanzamiento se realizó mediante cuatro cables de acero de alta resistencia. Éstos unidos a la última de las dovelas que se desplaza al ser enganchada de sujetadores metálicos que la atraviesan de arriba abajo y tiran de ella hacia el río empleado como apoyo el estribo de la margen derecha mediante un sistema de gatos hidráulicos.



Una vez que el tablero se ejecutó en su totalidad y se colocaron las 12 dovelas, la superficie que irá destinada al rodamiento vehicular se empleó para montar una estructura metálica (a manera de andamios) que sirvió para el soporte de la cimbra que dará forma al arco. Éste realizado con concreto blanco bombeado, está dividido en dos partes y es la pieza más atractiva de todo el conjunto, tiene 6 metros de ancho y pesa 3,000 toneladas.

Para realizarlo, dos equipos de cimbra montaron las estructuras metálicas de soporte para el arco, al mismo tiempo se colaron las losas de amarre que, además de formar parte del tablero recién construido, conforman los cuatro apoyos del arco sobre las pilas. Finalmente se realizó el colado del arco programando estrictamente el suministro del concreto para que nunca fallara el abastecimiento de este material y no se vieran afectadas las labores de vibrado en obra o consecuentemente la calidad constructiva. La clave del arco fue el último sector en realizarse. Después de iniciar la sujeción de los cables de acero a los soportes fijos de la calzada y el arco llegó el momento de aplicar tensión a fin de que actuaran como tirantes horizontales ayudando en el descimbrado del arco para que empezara a trabajar estructuralmente y el tablero tomara su posición final de trabajo.

Finalmente, se retiraron todos los apoyos provisionales del cauce, se procedió a realizar los acabados y remates para convertir una esbelta a la vez que sólida obra de ingeniería en un acogedor elemento urbanístico que contribuya a enriquecer el bienestar ciudadano. Hoy, España celebra esta magna obra y el mundo ingenieril se viste de gala. **C**