

Prefabricación de concreto aplicada en puentes

Una tecnología con margen de crecimiento

Ing. Alejandro López Vidal

Gerente Técnico, Asociación Española de la Industria del Prefabricado de Concreto – ANDECE

Fotos: Cortesía ANDECE

CONFERENCIA



Introducción

Desde que en 1936 Eugène Freyssinet construyera el primer puente de concreto preesforzado del mundo, en el que las vigas y tableros eran prefabricados¹, la tecnología de la prefabricación de concreto aplicada al diseño y la construcción de puentes ha experimentado un avance imparable. Hoy constituye uno de los campos que mejor ilustran las ventajas que proporciona la variante industrializada del concreto en términos de rapidez de ejecución, control de plazos y costos, opti-

↑ Puente de Öresund, que une a Dinamarca con Suecia.

mización de secciones, menor generación de residuos, durabilidad, economía a largo plazo, e incluso estética². El objetivo de este artículo es hacer un rápido resumen de la trayectoria de esta tecnología en Europa que puede servir de referencia para los grandes proyectos de puentes a acometer en América Latina, mostrar los criterios de diseño más importantes, resumir el papel de la empresa de prefabricados y abordar los retos inmediatos que la industria deberá afrontar para mejorar su competitividad.

Hitos históricos: experiencia en Europa

La construcción de puentes concentra uno de los grandes campos de aplicación para la prefabricación de concreto, donde la progresiva mejora de sus prestaciones frente a otras alternativas ha venido motivada fundamentalmente por el espectacular avance de los materiales (aditivos químicos, aceros o cementos), la progresiva automatización de las plantas, la mejora de las técnicas de unión en obra de los elementos, el aumento de la capacidad de los medios de transporte y elevación, e incluso por el desarrollo de las propias infraestructuras (carreteras, puentes, túneles) en las que el prefabricado ha participado para ampliar el radio de acción de las obras.

Sin duda alguna, a Freyssinet debe atribuírsele el mérito principal del despegue de la prefabricación de determinados elementos que conforman la estructura de los puentes gracias a la técnica del preesforzado. Finalizado en 1946, el puente de Luzancy sobre el río Marne (Francia) está considerado como su obra maestra. La estructura consistía en tres vigas cajón paralelas de sección rectangular variable según el esfuerzo a soportar, conformadas con elementos prefabricados cortos, con 22 bloques cada una, ensamblados en obra sin utilizar cimbra. Como las vigas, también fueron prefabricados los forjados intermedios, las losas de las aceras y las barandas. Otros grandes hitos que deben citarse fueron la introducción de las vigas en "I" para la construcción del viaducto ferroviario de Adam en

Wigan (Inglaterra) —construido también en 1946 y todavía en funcionamiento— que cuenta con 16 vigas de 9 m en cada uno de los 4 vanos; también el avance en voladizo con dovelas prefabricadas, técnica impulsada originalmente en Francia y que el ingeniero Carlos Fernández Casado supo explotar mejor que nadie, con el que diseñó un conjunto formidable de puentes en Almodóvar del Río sobre el Guadalquivir en Córdoba, el viaducto sobre el embalse de Iznajar y, para rematar, en el puente de Castejón sobre el Ebro en Navarra, obras realizadas entre 1964 y 1972 en suelo español.

Javier Manterola, todavía en activo, es otra figura reseñable que ha ayudado al crecimiento de esta tecnología. Afirma Manterola que *"un tablero de vigas prefabricadas es tan bueno porque optimiza una perfecta respuesta resistente, una construcción fácil y universalizable"*. Tomando como referencia los diseños de tableros desarrollados en Francia, entre sus proyectos destacados están el puente de Huerna (1981) en que se prefabrica todo: pilas, cabezales, tableros. Y en el río Mente (1998), cuyo planteamiento partió de una respuesta que recibió de José Emilio Gimeno: *"Hasta 40 metros de luz no tengo problema en competir en precio con nadie ni con nada. Si pudiese hacer lo mismo con 100 metros de luz..."* Para ello fue necesario cambiar la tipología clásica añadiendo puntales prefabricados que establecieron apoyos flexibles cada 30 m, resultando un puente de 90 m de luz con vigas de 30 m y 100 t de peso máximo. Y en este caso el puente tenía 90 m de altura.



↑ La construcción de puentes concentra uno de los grandes campos de aplicación para la prefabricación de concreto

Tampoco se pueden omitir los nombres del ingeniero José A. Fernández Ordóñez y del arquitecto Julio Martínez Calzón, con el puente del Centenario construido con motivo de la Exposición Universal celebrada en Sevilla en 1992. Este puente tiene longitud total de 2.016 m, está formado por dos accesos laterales y un tramo central. Se trata de vanos isostáticos de vigas prefabricadas de concreto reforzado. El vano central del puente –tramo atrantado de 265 m de longitud, en su época el de máxima luz de toda España– se sitúa a 45 m sobre el nivel del río y tiene forma parabólica, para no entorpecer el tráfico portuario y la entrada de buques de gran calado.

Finalizada en el año 2000, otra obra singular es el Puente de Öresund, una doble vía de comunicación terrestre –ferrocarril y carretera– que une Dinamarca y Suecia a través del estrecho de Öresund. Su diseño y construcción se realizaron bajo la premisa de que con las condiciones del entorno donde está ubicada –temperaturas inferiores a -20 °C, ambiente marino, riesgo de colisión de buques, impactos de masas de hielo, etc.– la durabilidad del proyecto debía superar los 100 años, plazo que condicionó en gran medida los criterios de diseño de las estructuras y de los materiales empleados. Los elementos prefabricados desempeñaron un papel clave en el cumplimiento de estos exigentes requisitos, recurriendo en parte a la prefabricación para la formación parcial de los túneles, los tableros, las pilas y las fundaciones.

También debe apuntarse una etapa en que los prefabricados han sido elementos clave. En los últimos años se ha producido un notable incremento en el número de puentes prefabricados continuos construidos en las líneas de alta velocidad ferroviaria españolas, de doble cajón prefabricado con losa superior *in situ* como solución más habitual.

Desde entonces se ha consolidado esta técnica y ha recibido la atención de proyectistas de otras industrias, pues un número importante de empresas de prefabricados han ido adquiriendo una capacidad humana y productiva que les permite ofrecer soluciones prácticas y fiables en el diseño de puentes.

Criterios particulares de diseño

La primera decisión que debe acometerse en el proyecto de un puente es definir el material o materiales que conformarán la estructura. Para ello es fundamental que el proyectista conozca las capacidades y limitaciones de cada uno, y adaptarse a los condicionantes que se presenten. Aunque podemos encontrarnos con puentes mixtos, lo habitual es que la decisión se limite a elegir entre acero y concreto, y es en este segundo caso cuando el prefabricado surge como opción de diseño para conformar un número determinado de elementos.

Partiendo del diseño general de la estructura, coexisten una serie de condicionantes que determinarán

la mayor o menor adecuación de elementos prefabricados, como serán aspectos espaciales (distancias a salvar que influirán en las luces, ancho de la plataforma, altura del puente), el contexto exterior (red de vías y accesos a la obra, presencia y capacidad de las grúas) o funcionales (clase de exposición ambiental o el mayor rigor en el cumplimiento de plazos). Es evidente que en aquellos puentes que por su configuración (grandes luces) o situación (dificultades para transportar y colocar los elementos) el prefabricado reste competitividad. Pero por el contrario, todos aquellos puentes que prioricen el cumplimiento de otros aspectos que permitan mayor modulación de la estructura (búsqueda del ideal de la máxima repetitividad de los elementos) se vuelquen hacia una mayor industrialización. A partir de este punto, el proyectista deberá ser plenamente conocedor de las dos particularidades que atañen a los elementos prefabricados utilizados en las estructuras de puentes: su carácter evolutivo y la adecuada resolución de las conexiones.

Otro aspecto no menos importante es el tipo de esquema estructural, isostático o hiperestático, que influye de sobremanera en la forma de abordar el proyecto y la posterior ejecución:

	Puentes isostáticos	Preventiva
Luces óptimas	Entre 20 y 40 m	Grandes luces debido al funcionamiento estructural del tablero en continuidad (< 70 m)
Secciones vigas	Vigas "I"	Cajones y artesas, que proporcionan al tablero las ventajas de sección cerrada y facilitan la ejecución de las uniones dentro de las mismas. Se emplean en soluciones de canto variable (parabólico y recto) y canto constante.
Principales aplicaciones	Pasos superiores de carretera de corta longitud	Puentes de ferrocarril de alta velocidad con soluciones hiperestáticas para luces de hasta 40 m. Puentes de carretera con luces de hasta 80 m en caso de apoyos a media madera o con apeos provisionales.
Configuración espacial	Predominantemente rectos	Se emplean tanto en puentes de planta recta como curva.
Uniones	Sencillas	Unión entre vigas mediante barras de acero de alta resistencia postensadas e inyección posterior de la junta con mortero de alta resistencia. La unión se realiza sobre apoyos, consiguiendo un funcionamiento continuo en sentido longitudinal.
Ventajas	Mayor facilidad de ejecución	En tableros con grandes cargas se consiguen soluciones de tableros muy rígidos respetando el canto mínimo. En puentes de ferrocarril mejoran el comportamiento dinámico. La inexistencia de juntas entre vigas mejora considerablemente la estética del tablero y el confort de la rodadura. La contribución del momento negativo en pila permite descargar la viga a positivos en tableros muy solicitados pudiendo ir a luces grandes y cantos menores. Los movimientos verticales son menores, se reducen las flechas y los efectos dinámicos.

↑ Tabla 1.- Principales diferencias entre los puentes isostáticos y los hiperestáticos.

La relevancia del papel del prefabricador está en función del grado de industrialización que se acabe empleando en el puente; puede encontrarse principalmente frente a dos situaciones:

- Si el proyecto está en etapa todavía temprana, el cliente o autor del proyecto apenas impone condicionantes de diseño y puede apoyarse en el asesoramiento técnico del prefabricador para la toma de decisiones.

- Si el proyecto estructural está prácticamente definido, el papel del prefabricador se reduce a ofrecer la mejor solución dentro de su “catálogo técnico” de elementos.

En el caso de puentes que incorporen elementos prefabricados de concreto la situación idónea es la primera, pues evita en gran medida ciertas indefiniciones que podrían causar problemas posteriores durante la fase de ejecución. Bajo este enfoque, puede afirmarse que el proyectista subcontrata parte de la ingeniería del proyecto en el prefabricador, que no sólo se encarga de la producción y el suministro de las piezas, sino que interviene además en la definición de la estructura.

En cuanto a los elementos prefabricados de concreto que pueden intervenir en el diseño de los puentes, es posible agruparlos en tres familias diferenciadas en cuanto a su importancia estructural:

- Elementos de carácter primario en los que es fundamental la capacidad resistente, en los que su colapso ocasionaría un daño grave y global que dejaría fuera de servicio la estructura: vigas, tablero (l, artesas, dovelas), pilas, dinteles, etc.
- Elementos de carácter secundario en los cuales es fundamental la capacidad resistente, pero cuya falla produce sólo daños locales: prelosas, pretiles, aceras en voladizo, etc.
- Elementos en los que la capacidad resistente no es fundamental, sino sus características estéticas o funcionales: bordillos, impostas, etc.

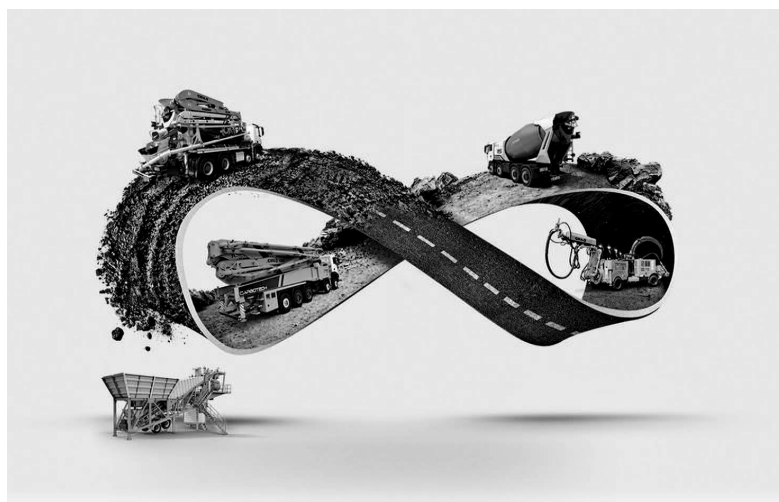
Retos de futuro: sostenibilidad y BIM

En primer lugar deben reseñarse dos aspectos imprescindibles que han centrado la atención en los últimos tiempos, y a los que la industria del prefabricado de concreto ha sabido responder satisfactoriamente. La calidad ha sido durante mucho tiempo el campo de batalla de cualquier actividad manufacturera, y pocos dudan hoy de la solvencia que garantizan los elementos prefabricados, gracias a la intensificación de los controles que se realizan a lo largo del proceso productivo, y que tienen como efecto inmediato la casi nula aparición de patologías y otros defectos. Por otro lado, los puentes y otras infraestructuras de alto costo y gran envergadura requieren mayor vida de servicio y menores tareas de mantenimiento, por su dificultad para llevarlas a cabo y los costos que derivan de ellas. Recurrir a soluciones en prefabricado de concreto permiten asegurar estos condicionantes.

Por lo que respecta al futuro más inmediato, hay dos tendencias que adquieren cada vez mayor importancia: la sostenibilidad y la metodología BIM (modelado de información de la construcción). La sostenibilidad se presenta como una auténtica oportunidad para que el sector de los prefabricados de concreto mejore su posicionamiento en el mercado –si es capaz de sacar provecho de ciertas ventajas que ofrece– tal y como reflejamos en la introducción. En este caso, la generalización de las declaraciones ambientales de producto³ constituirá una fuente de información cada vez más recurrida, para valorar la conveniencia de unas soluciones constructivas frente a otras, sin olvidar otros aspectos ligados a las variantes social y económica.



¡Soluciones Infinitas en el mundo del concreto!



Innovadores camiones hormigoneros que ofrecen:
menos consumo, menos ruido,
menos contaminación, más libertad de movimiento.



CIFA HYBRID



CIFA MAGNUM

AUTOPISTA MEDELLIN KM 7 VIA SIBERIA
FACATATIVA CELTA TRADE PARK BODEGA 18

PBX: (571) 821 9190 · Cel.: 320 308 6245





◀ Puente prácticamente en prefabricado de concreto: pilas, cabeceros, vigas tablero y prelasas.

En cuanto a BIM, consiste en la recopilación e interacción de la información de un proyecto constructivo en un modelo virtual en 3D, que abarca la geometría y características técnicas de los elementos individuales y los sistemas constructivos que lo configuran (estructura, cerramientos, instalaciones, etc.), las relaciones espaciales entre éstos, la planificación de su construcción, los costos, e incluso aspectos medioambientales. Esta metodología impondrá mayor rigor y definición en proyecto de los elementos que conformarán la obra, por lo que la introducción progresiva BIM debe ir acompañada de mayor cuota de industrialización en la construcción y, por tanto, cabe esperar que un mayor número de unidades constructivas se configuren mediante elementos prefabricados de concreto⁴. En este caso se puede destacar la iniciativa reciente de desarrollar una primera biblioteca compuesta por diez productos prefabricados de concreto genéricos modelados en BIM, entre los que se incluye una viga artes de puente⁵.

Referencias

1. A. López, D. Fernández-Ordóñez, "La construcción con prefabricados de concreto: una historia por escribir", Noticreto n° 133, 2015. www.andece.org/images/BIBLIOTECA/historia_prefabricados_noticreto.pdf
2. J.F. Hernández. Zuncho, La eficiencia y la eficacia de las soluciones prefabricadas en la obra civil, 2009. www.andece.org/images/BIBLIOTECA/eficacia_prefabricados_obra_civil.pdf
3. A. López, "Declaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón", Ecoconstrucción, 2016. www.andece.org/images/BIBLIOTECA/dap_ph_ecoconstruccion.pdf
4. A. López, "Una (r)evolución llamada BIM", Cemento Hormigón n° 974, 2016
5. Galería de productos prefabricados de hormigón en BIM. BIMETICA. bimetica.com/es/andece.html



↑ Construcción de un puente off-shore mediante el empleo de cajones prefabricados de concreto para la formación del tablero.