

CONCEPCIÓN Y DISEÑO DE PUENTES DE HORMIGÓN

Hugo Corres Peiretti

Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Catedrático de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, UPM

Presidente de FHECOR Ingenieros Consultores

Introducción

Hablar de la concepción y del diseño de puentes de hormigón es hablar de las posibilidades de proyecto, lo que supone repasar las tipologías, las posibilidades que brindan los nuevos materiales, los avances tecnológicos vinculados a la construcción de puentes, etc. para hacer frente a las nuevas necesidades. Todo esto encuadrado en una situación como la actual, muy cambiante, muy distinta a la de hace tan sólo pocos meses, lo que impone nuevas necesidades y, por qué no decirlo, restablece prioridades e invita a la vuelta a una cierta normalidad perdida en los años anteriores.

En esta presentación se analizan estos temas en el marco de una matriz **necesidades**, ordenadas en relación con el ciclo vital de las estructuras, y de **posibilidades** ofrecidas por la tecnología actualmente disponible.

Necesidades	Posibilidades				
	Técnicas	Materiales	Procesos	Dispositivos	Ideas
Concepción					
Proyecto	X	x	x	X	x
Construcción	X	x	x	X	x
Vida útil		x		X	x
Demolición					

Desarrollo de la matriz necesidades, organizada en términos del ciclo vital de los puentes – posibilidades

El proyecto de puentes de hormigón, como el resto de las actividades humanas, tiene las posibilidades y retos que se presentan en el entorno cultural e histórico en que se desarrolla.

En la actualidad los puentes exigen nuevas actuaciones, que en esta presentación se plantean ordenadas de acuerdo con el **ciclo vital de las estructuras**.

Javier León, experto ingeniero estructural, con una visión global de las estructuras, enmarcadas por el contexto, y promotor de muchas de las ideas vinculadas a la vida de las estructuras, que el autor de este resumen y muchos otros muchos hemos aprendido de él, dice que la vida de las estructuras, también la de los puentes de hormigón, tienen distintas etapas que se pueden relacionar o comparar con la vida de los seres humanos. Con eso del ciclo vital nos viene dando la tabarra Javier León desde hace ya unos años, y tengo que decir que es una idea que comparto porque, como acabo de señalar, el enfoque antropológico que expresa esa metáfora (proyección intelectual de las ideas de los seres humanos ingenieros hacia la concreción de los puentes, que usarán los restantes seres humanos), debe presidir la labor del ingeniero que concibe y diseña.

En efecto, la vida de las estructuras, también la de los puentes de hormigón, tiene distintas etapas que se pueden relacionar o comparar con la vida de los seres humanos.

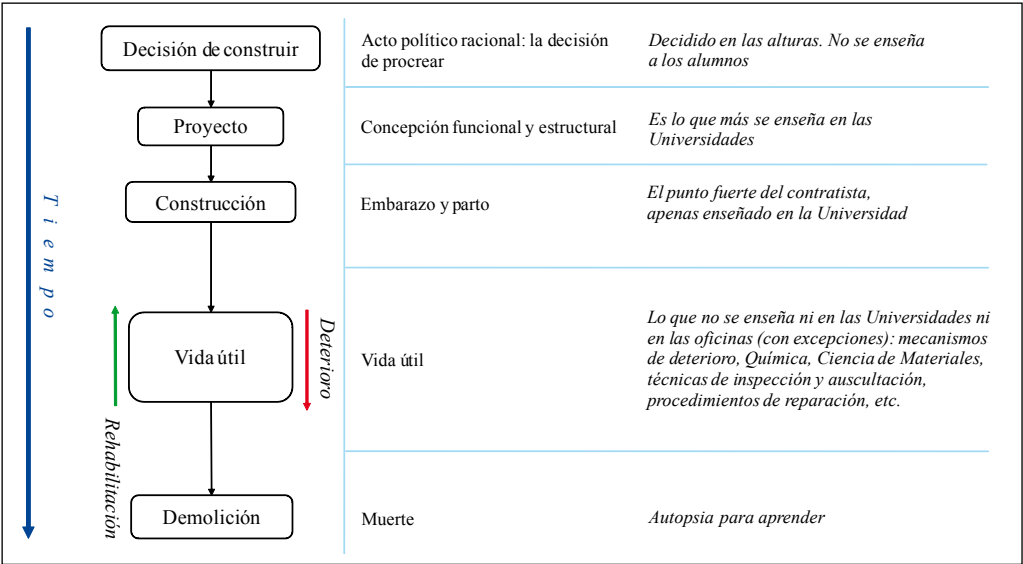


Figura 1. Ciclo vital de las estructuras.

Los puentes aparecen como consecuencia de las necesidades de la sociedad, se conciben durante el proyecto y se hacen realidad durante la construcción. Los ingenieros estructurales, proyectistas y constructores de puentes, nos hemos dedicado casi exclusivamente a estas primeras etapas del ciclo vital que ocupan, como en la vida de los seres humanos, muy poco tiempo del ciclo vital.

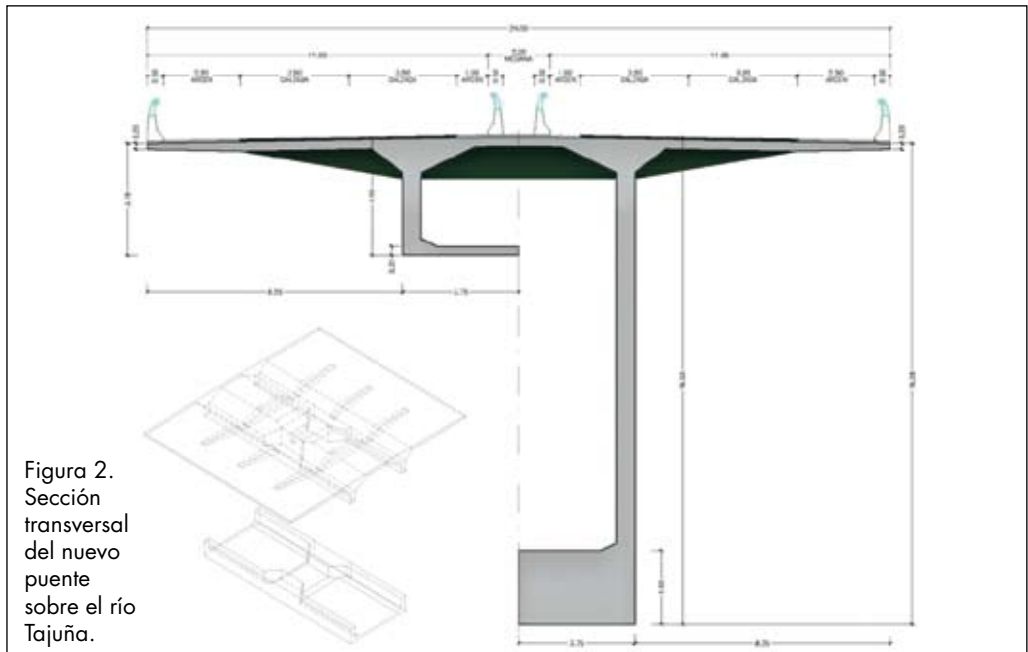
La vida útil de las estructuras es el periodo temporal más largo, al que menos atención se ha prestado y el que requiere mayor dedicación. El cuerpo de doctrina, en relación con este tema, es aún incompleto. No hay formación, las escuelas no dedican asignatura alguna a estos temas y, con la deriva de la Universidad actual, nada hace prever que las cosas cambiarán a

mejor en el futuro. Los jóvenes técnicos, ingenieros en su mayoría, quieren ser grandes como espera la sociedad mediática que hemos construido, y no ven en el mantenimiento posibilidades de lucimiento y, sin confesar el verdadero problema, que es la falta de conocimiento en este campo hasta para reconocer las posibilidades que se tienen, le atribuyen falta de interés técnico. Pobres de nosotros y de la ingeniería si sólo viéramos el interés técnico en los grandes proyectos, que son pocos, que están reservados a pocas gentes y que no son el camino para hacer grande la ingeniería.

Hasta la demolición de las estructuras, etapa equivalente a la muerte de los seres humanos, requiere de una reflexión para aprovechar este último momento de la vida de las estructuras para el aprendizaje, como hacen los médicos con la autopsia. La demolición supone retos de proyecto, retos medioambientales, retos de integración cultural, retos de entendimiento de las estructuras construidas en otras épocas, muchos retos.

Usando la vida útil como encuadramiento, **¿cuáles son las nuevas necesidades que se presentan en el diseño y la concepción de puentes?**

En relación con el proyecto, las capacidades de las nuevas autovías y autopistas han planteado nuevos retos. Ahora se plantean tableros muy anchos, con toda una nueva gama de posibilidades proyectuales: doble tablero, tablero único, viaductos con rasante baja, viaductos con rasantes alta, etc.



Esos retos, en los que se funden exigencias prestacionales y de sostenibilidad (que es para lo que sirve el mantenimiento) comienzan a tener eco en la normativa. Se está revisando la IAP para adecuar las nuevas demandas de tráfico a las bases de cálculo de acciones, lo que posiblemente de lugar a nuevas ideas para resolver esos nuevos problemas. Además, la propia Dirección General de Carreteras y la Comisión Permanente del Hormigón, a través de la Instrucción EHE, impulsan la

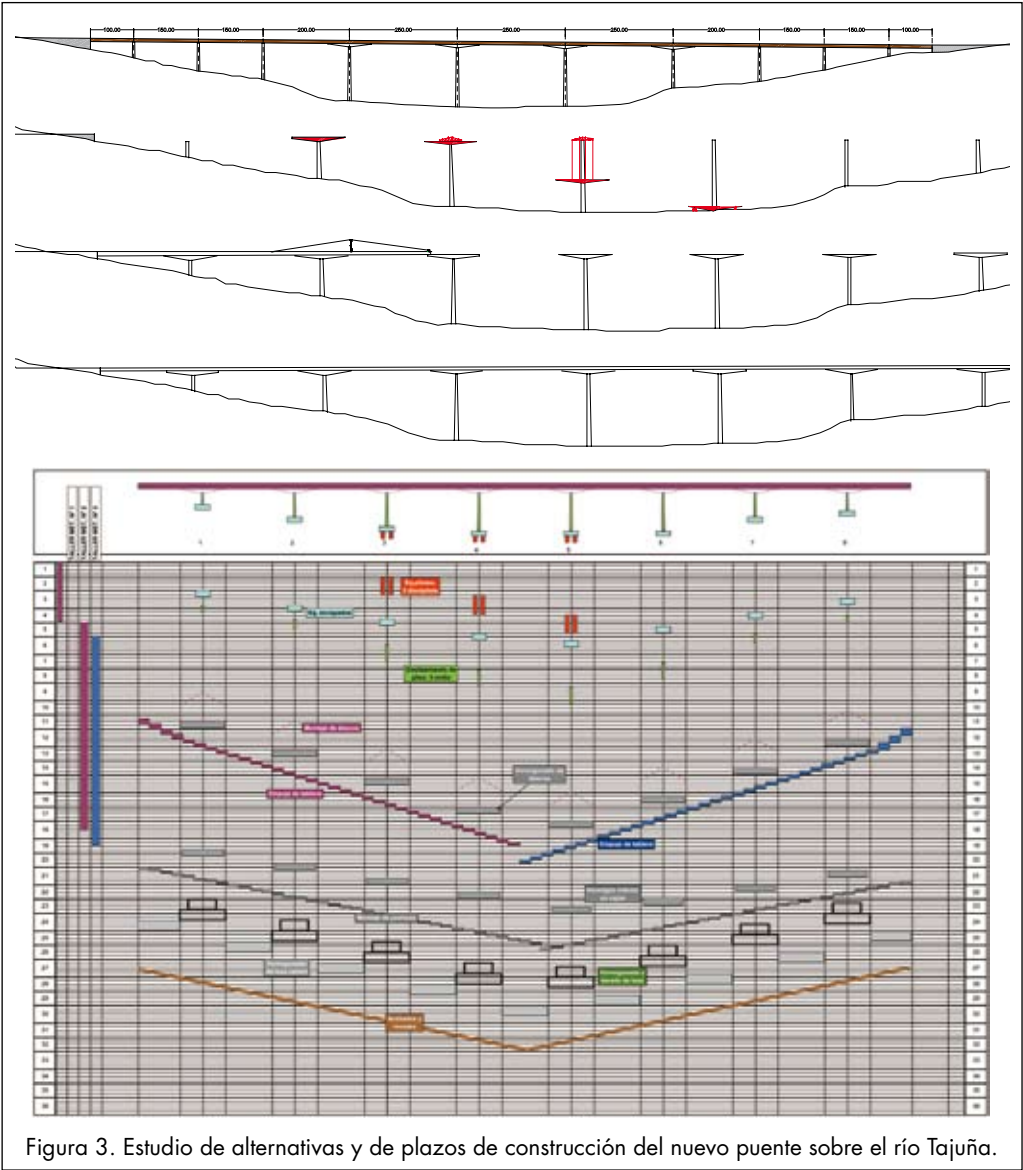


Figura 3. Estudio de alternativas y de plazos de construcción del nuevo puente sobre el río Tajuña.

idea de que los puentes han de ser mantenidos, aspecto que ha de ser planteado ya desde el proyecto. En el proyecto es cuando se debe pensar en minimizar las exigencias que planteará el mantenimiento, seleccionando formas, materiales y procedimientos constructivos en esa dirección.

La nueva EHE da un paso más en este sentido y, reafirma el concepto de vida útil para los puentes que la IAP define de 100 años. Esto supone que deben tomarse las medidas proyectuales adecuadas para garantizar que, con un mantenimiento y explotación normales, se asegure que la estructura no disminuirá sus prestaciones por debajo de un cierto umbral. Supone un paso más en el entendimiento de los procesos de deterioro que afectan a los puentes y la necesidad de tenerlos en cuenta para asegurar el comportamiento deseado.

En los últimos años ha aparecido un nuevo requisito que se une a los ya consagrados de seguridad estructural y comportamiento en servicio (además del recién incorporado estado límite de durabilidad): la seguridad del usuario o, más coloquialmente, la seguridad vial. Esta lógica preocupación ha movido a la revisión de los elementos de seguridad y ha impuesto, aunque quizás esto no sea tan visible por ahora, pero lo será en el próximo futuro, condiciones adicionales en el proyecto de puentes.

A todo lo anterior se une el hecho cierto de que la velocidad de construcción se ha acelerado. Las inversiones públicas o privadas requieren tasas de rentabilidad económica y social que obligan a acelerar los periodos de construcción. Este es un aspecto fundamental para el proyecto.

Durante la construcción las nuevas necesidades están vinculadas los tiempos de ejecución, que se han acortado enormemente, y a las nuevas demandas de seguridad y salud.



Figura 4. Ampliación del puente de los Santos, entre Galicia y Asturias.

DISEÑO Y CONCEPCIÓN DE Puentes DE CARRETERA

ESTÉTICA, EFICIENCIA E INNOVACIÓN



Figura 5. Inspección, diagnóstico, demolición y reconstrucción del Puente de la Toja.

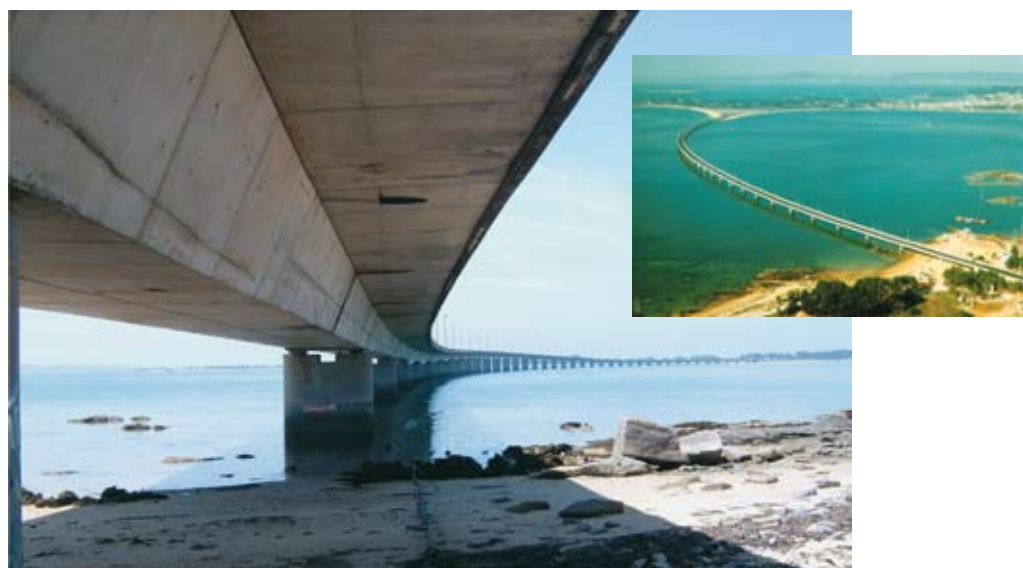


Figura 6. Reparación del puente de Arosa.

Otra necesidad importante que ha impuesto la sociedad en los últimos años es la sostenibilidad. Es posible mejorar radicalmente las condiciones de sostenibilidad con adecuadas decisiones durante la construcción.

Durante la vida útil se han incrementado las necesidades de mantenimiento, adecuación y rehabilitación de las estructuras existentes. El patrimonio se ha incrementado espectacularmente, se ha duplicado en los últimos años y con ello las necesidades de este tipo de intervenciones.



Figura 7. Reparación de los puentes de la autopista I-90, Indiana Toll Road.



Figura 8. Demolición del paso Superior de Cuatro Caminos.

Por último, en los últimos años se han realizado distintas **demoliciones** que crean asimismo distintas nuevas necesidades y ofrecen también nuevas posibilidades. La realización de proyectos de este tipo, con carácter de I+D+i, la ejecución de los mismos y su posterior análisis ha abierto nuevos horizontes en la comprensión del comportamiento estructural, en la evolución de las propiedades vinculadas a la durabilidad y, asimismo, en las posibilidades de reciclado de materiales. Finalmente, estos trabajos de autopsia han permitido asimismo analizar cómo eran el proyecto y la construcción en otras épocas, de lo que se pueden deducir fecundas enseñanzas. También sirve para reco-

nocer el enorme mérito de nuestros antecesores, y para descubrir algún que otro error, que debe ser considerado con indulgencia y con carácter propedéutico. Es un error juzgar la historia con los ojos del presente, pero es igualmente necio no aprovecharla para aprender.

En el otro eje de esta matriz, en torno a la que se organiza la presentación, se plantean las posibilidades. **¿Cuáles son las posibilidades que ofrecen el estado del conocimiento y el mercado para la concepción de puentes?**

Las tradicionales propuestas hormigón armado y pretensado se han mantenido, aunque mejoradas por el desarrollo de los materiales constituyentes. Las únicas novedades, implantadas desde hace un cierto tiempo, son el pretensado exterior, dentro de la sección y muy útil para algunas tipologías, y, como extensión, el extradado, como técnica intermedia entre el pretensado y el atirantamiento.

En cuanto a las tipologías tampoco puede decirse que haya novedades. Se han mejorado las existentes con la aportación de los nuevos medios disponibles, materiales y procesos constructivos. En muchos casos se han generalizado tipologías que parecían extraordinarias hace pocos años. La gran transformación ha sido protagonizada por los materiales y por los procesos constructivos.



Figura 9. Refuerzo con pretensado exterior en el interior del cajón del puente de los Santos.



Figura 10. Puente sobre el río Deba, extradosado de Jose Antonio Ilombart.

El hormigón ha aumentado sus prestaciones resistentes. La nueva EHE permite utilizar hormigones de alta resistencia hasta 100 MPa. Existe ya una tecnología adecuada para su producción y hay muchas realizaciones que así lo certifican.

El hormigón ha mejorado sus prestaciones relacionadas con la colocación. Los hormigones autocompactantes permiten hoy por hoy resolver muchos problemas que no eran posibles con las trabajabilidades de los hormigones tradicionales.

Se pueden producir con normalidad hormigones ligeros, muy útiles para aplicaciones especiales como las adecuaciones de puentes existentes, en los que es imprescindible minimizar el peso propio.



Figura 11. Arco de los Tilos.



Figura 12. Arco de Navia.



Figura 13. Viaducto sobre el río Tajuña.



Figura 14. Losa de ampliación del viaducto de los Santos.

El hormigón con árido reciclado procedente de demoliciones, utilizado en un porcentaje de los áridos, ha abierto la puerta para utilizar hormigones antiguos, provenientes de una demolición, como áridos en hormigones nuevos. Esta alternativa abre muchas posibilidades de cara a la sostenibilidad de nuestras construcciones futuras.

Otros desarrollos aun no disponibles industrialmente, hormigones con nano elementos, permiten pronosticar para un futuro no muy lejano hormigones con resistencias a compresión de hasta 100 MPa con un comportamiento dúctil similar a un acero de baja calidad.

En el campo de las armaduras también se han hecho propuestas interesantes disponibles en el mercado. Los aceros inoxidables, caros pero con gran protección para zonas muy agresivas. Aceros de alta resistencia. Estos aceros no terminan de imponerse ya que están condicionados por el estado tensional de servicio, que produce fisuración.



Figura 15. Puente atirantado con tablero fabricado con árido reciclado.

Se ha explorado otra gama que es la de las armaduras no metálicas, con grandes prestaciones resistentes pero con poca ductilidad.

La industria ha desarrollado dispositivos para distintos problemas, vinculados con los puentes. Los dispositivos para amortiguar o aislar el efecto de las fuerzas sísmicas. Estos elementos tienen grandes prestaciones pero requieren de un estudio profundo para su utilización. Existen nuevos dispositivos de apoyo que ofrecen mayor durabilidad y mejores prestaciones.

Los productos relacionados con el incremento de la vida útil que pone hoy la industria a disposición de los proyectistas y constructores permiten dar garantías fundadas de una mayor vida útil, como es el caso de los inhibidores de corrosión, las pinturas aplicadas sobre la superficie, el empleo de armaduras protegidas (inoxidables, con protección epoxídica, galvanizadas), etc. Asimismo han probado ya su eficacia los dispositivos de protección catódica y, en general, los relacionados con la actuación preventiva, siempre mejor que la curativa, frente al deterioro.

En el campo de la reparación de estructuras ha habido un gran desarrollo de materiales y técnicas que permiten abordar reparaciones y garantizar comportamientos durables muy interesantes.

Procedentes del terreno de las ideas, de las actitudes proyectuales, parecen cobrar impulso las estructuras integrales, que me vienen obsesionando desde hace ya varios años, en la medida en que su robustez y la ausencia de juntas hace de ellas especialmente durables, emuladoras de los veteranos puentes de piedra, los más durables y sostenibles que ha puesto a punto el ser humano.

Consideraciones finales

Existen nuevas necesidades, surgidas del contexto socioeconómico actual, que permiten presagiar que la actividad vinculada a los puentes tiene aún mucho recorrido.

Se plantean nuevos retos y nuevos problemas a resolver, especialmente en el campo del mantenimiento, adecuación y rehabilitación de estructuras, que requieren de un gran esfuerzo por parte de todos. Requieren formación, requieren más experiencia —no es un negocio para novatos—, requieren de una más cariñosa (de amor) mirada integral al mundo de los puentes. Requieren, en definitiva, de una ingeniería fina, de gran nivel cultural y con grandes capacidades de innovación.

Existen nuevas posibilidades, nuevos materiales, nuevos procesos constructivos, nuevas técnicas, etc. que deben ser entendidas y utilizadas con imaginación, con nuevas propuestas para sacarles el máximo provecho. Muchas veces estamos sometidos al eclipsamiento de los comerciales de nuevas tecnologías. No se puede utilizar bien aquello que no se conoce y ello supone un esfuerzo.

Estamos en un momento histórico, quizás coyuntural que, espero, permita aprovechar las necesidades y posibilidades actuales para reencontrarnos con la verdadera ingeniería, la de las ideas, la del entendimiento de los problemas, la que siempre ha existido, en todas las épocas y que hemos perdido, en cierta medida, en la búsqueda de otras epopeyas, quizás con inconfesables veleidades que la austeridad de los tiempos dejan en evidencia.