

## III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI  
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro



### Realizaciones



## PUENTE RECICLADO SOBRE EL RIO TURIA EN MANISES (VALENCIA)

Pilar ALAEJOS<sup>1</sup>, Alberto DOMINGO<sup>2</sup>, Carlos LÁZARO<sup>2</sup>, Salvador MONLEON<sup>3</sup>,  
Marta SÁNCHEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEDEX. Ministerio de Fomento. Madrid.

<sup>2</sup> CMD Domingo y Lázaro Ingenieros, S.L. Valencia.

<sup>3</sup> Catedrático de Puentes. Universidad Politécnica de Valencia.

## RESUMEN

En ocasiones la ampliación, rehabilitación y/o conservación de determinadas estructuras de escaso valor patrimonial inicial, choca frontalmente con su prevista funcionalidad y sus nuevas prestaciones exigibles. En estos casos, cabe interpelarse sobre la posibilidad de su reutilización en un sentido mucho más amplio como puede ser el empleo, nuevamente, de sus materiales originales, a modo de una reconversión y transformación de la estructura, una metamorfosis en una nueva estructura con sus componentes patrimoniales, *conservando* y *manteniendo* la génesis de su antigua funcionalidad: soportar un estado de cargas que permita el tránsito óptimo de vehículos y personas.

## PALABRAS CLAVE

Árido reciclado, hormigón reciclado, proyecto piloto, puentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La carretera CV-371 (VV-6117), constituye el acceso desde Manises y desde Paterna a la V-30 y es la vía de comunicación entre ambos municipios. La carretera tiene una longitud total de 1,800 km, aunque el tramo que nos ocupa, entre el final de la zona urbana de Manises y el principio de la zona urbana de Paterna, tiene una longitud de 0,750 km.

El ancho de plataforma es de 5,50 m en el tramo de Manises a la V-30 y de 7 m de media en el tramo desde la V-30 a Paterna. Tanto estos anchos como el trazado de la vía resultan inadecuados para la actual demanda de tráfico, especialmente en el tramo comprendido entre Manises y la V-30, donde se encuentra el puente sobre el río Turia, con un ancho escaso de 5,30 m que dificulta la circulación de autobuses y camiones a través de la estructura. A todo lo anterior habría que añadir que la proximidad física entre las poblaciones de Manises y Paterna no se corresponde con la cercanía sociológica, comercial y cultural, debido a la ausencia de vías de comunicación adecuadas.

Por todos estos motivos, se considera necesario realizar mejoras de acondicionamiento de la carretera CV-371 en el tramo entre las dos poblaciones, con el fin de resolver los problemas expuestos, y mejorar la

seguridad vial, la accesibilidad, la capacidad y la funcionalidad del eje viario desde Manises a Paterna.

## 2. PLANTEAMIENTO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS

El puente por el que la carretera CV-371 cruza el cauce de río Turia es una estructura de hormigón, de 145,80 m de longitud total repartidos en nueve vanos isostáticos, de luces variables entre 10,60 y 22,80 m, con ocho pilas de espesor comprendido entre 2,0 y 3,6 m (Figura 1).



Figura 1. Fotografía del puente actual

El puente ya fue rehabilitado y ampliado a finales de los años 80 (el proyecto de “Obras de ampliación y terminación del puente de Manises a Paterna” fue redactado por la empresa Sondeos, Estructuras y Geotecnia, S.A., en marzo de 1.988). Como consecuencia de esta remodelación, en los primeros 5 vanos (desde Paterna), el tablero está formado por vigas prefabricadas de hormigón pretensado, de 70 cm de canto, y una losa de hormigón armado de 20 cm de canto y 7,40 m de anchura. En los 4 vanos restantes, se mantuvieron las vigas en “pi” originales, y se amplió la losa hasta 7,40 m (originalmente, el tablero tenía 6,20 m de anchura). Para soportar esta ampliación, se recrecieron las pilas y los estribos (Figura 2).



Figura 2. Ampliaciones del tramo en “pi” y vigas pretensadas.

A pesar de estas obras de mejora, el puente tiene un ancho útil escaso de 5,30 m, que dificulta la circulación de autobuses y camiones a través de la estructura. Por otro lado, la estructura actual es muy masiva, y tiene una capacidad de desagüe reducida (escasamente puede evacuar 1.000 m<sup>3</sup>/s).

Además, la adecuación de la plataforma al ancho previsto para el futuro bulevar (16,50 m útiles) supone un notable incremento de las cargas permanentes y variables para la antigua estructura, viéndose directamente cuestionada su capacidad portante.

Una primera propuesta para resolver el problema estructural planteado, que no el hidráulico, consiste en independizar las aceras y el carril bici respecto de la calzada, construyendo sendas pasarelas a ambos lados del puente actual. De este modo, todo el tablero de la estructura existente queda para la circulación de vehículos motorizados. Para que esta alternativa no empeore la situación frente a avenidas en el cauce del río Turía, no se debe situar ningún elemento de apoyo en el cauce, con lo que el sistema primario de los nuevos elementos debe concebirse por encima del tablero actual, mediante arcos o un atirantamiento, desembocando así en una clara confrontación de tipos y épocas. Esta solución no supone ninguna mejora hidráulica respecto de la original (aunque tampoco empeora la capacidad de desagüe del puente actual), y presenta un coste elevado, puesto que la nueva luz a salvar por las pasarelas es de 145,80 m.

Una segunda alternativa, que sigue la línea de la primera, es independizar las aceras y el carril bici de la calzada únicamente en los tres primeros vanos del lado Manises, cauce menor del río. La luz de este tramo, de unos 60 m, es salvada mediante una viga cajón en Z, con trazado curvo en planta. En el resto del puente, el carril bici y las aceras están adosados al tablero del puente actual (aunque son independientes del mismo), y tienen un apoyo aproximadamente cada 25 m, coincidiendo con una de cada dos pilas del puente actual. Respecto de la solución anterior, esta propuesta presenta la ventaja de un menor coste, ya que la luz máxima a salvar es de unos 60 m. Además, ya no se produce un contraste estético tan fuerte entre la estructura antigua y su ampliación.

Las dos alternativas de ampliación del puente presentan diversas desventajas, aunque prácticamente todas ellas están relacionadas con las características de la estructura existente. Otro problema muy importante es la socavación de las pilas del puente actual, un riesgo inherente, por la obstrucción al flujo del agua de los numerosos apoyos que ésta tiene en el cauce y por el tipo de

cimentación. Este riesgo no se elimina ni soluciona con ninguna de las soluciones de ampliación planteadas, es más, en algunos casos puede agravarse.

Finalmente, desde un punto de vista estético, la estructura existente no tiene ningún valor: es irregular y heterogénea en sus formas y proporciones, es muy masiva y se encuentra en un estado de conservación bastante deteriorado. De este modo, la permanencia del puente actual empobrece estéticamente cualquier nueva solución de ampliación.

### **3. SOLUCIÓN PROPUESTA**

Por estos motivos, se propone el proyecto de un puente atirantado sobre el río Turia, de dos vanos asimétricos, con 55,00 m de luz del lado Paterna y 90,00 m de luz del lado Manises.

En la propuesta que se presenta, el plano del tablero divide el espacio en dos zonas muy diferentes y diferenciadas: por encima del mismo, domina el sistema pilono-atirantamiento, creando un claro impulso ascendente que finaliza al enfocar la potente riostra de canto variable, mientras que, por debajo del puente, se aprecian exclusivamente las formas masivas de las subestructuras y el “vientre” del tablero, con su artesonado de hormigón y acero corten. Los estribos y los potentes arranques del pilono poseen amplios berenjenos horizontales revestidos, al igual que el bisel de la imposta, de cerámica metalizada, homenaje directo a la gran tradición artesana de Manises y Paterna. Este espacio bajo el puente adquirirá todavía mayor interés si se plantean futuras actuaciones medioambientales y recreativas en el cauce del río Turia.

En cualquier caso, los argumentos estéticos no son los primordiales en la solución planteada, aunque sí predisponen sensibilidades. Los principales valores de la propuesta radican en sus ventajas hidráulicas y funcionales, asociadas a unos costes razonables, dado que la complejidad constructiva de la obra puede considerarse moderada (especialmente si se tiene en cuenta los costes de la rehabilitación de la estructura actual y de una ampliación que requeriría o bien un recalce de todas las cimentaciones existentes o bien construir pasarelas de 145 m de luz).

La mejora de la capacidad de desagüe viene dada por la reducción de las interferencias hidráulicas (ya que se dispone un único apoyo en el cauce) y por la elevación de la rasante de la carretera. Ésta se eleva 2,50 m respecto de la rasante existente, enlazando con la cota actual de la carretera antes de llegar al cruce con la V-30, a la altura de la segunda rotonda proyectada en el bulevar Paterna - Manises.

Una de las mayores singularidades del presente proyecto es el aprovechamiento de la antigua estructura sobre el río Turia como material reciclado tanto en viales, aceras, elementos ornamentales y, como no, en el nuevo puente como material estructural. Si bien todos los anteriores parámetros expuestos, los cuales justifican la solución adoptada, hacen por si mismos una configuración del nuevo puente como una estructura singular, el aprovechamiento del antiguo puente como material reciclado en el nuevo, posiciona el presente proyecto como un hito singular y emblemático en el aprovechamiento de la deconstrucción de viejas estructuras. Los conceptos de construcción sostenible, conservación patrimonial y respecto al medio ambiente, cobran especial relevancia en el proyecto que se presenta.



Figura 3. Vistas virtuales del nuevo puente

#### 4. DEMOLICIÓN Y RECICLADO DE LA ESTRUCTURA ACTUAL

Como se ha comentado anteriormente, debido al mal estado de conservación y las desfavorables condiciones hidráulicas del puente actual, se ha optado por la ejecución de un nuevo puente en la misma ubicación, siendo necesaria por lo

tanto su demolición. Dentro de esta opción se barajaron dos posibilidades: depósito en vertedero de los residuos, o reciclado de los mismos en las obras del proyecto. Esta última opción presenta varias ventajas, por una parte se reduce el impacto ambiental y paisajístico, al evitar el vertido de unos 1.600 m<sup>3</sup> de un material de buena calidad como son los residuos de hormigón, y por otra parte un menor impacto ecológico al aprovechar materias primas que con un adecuado tratamiento podrían ser recicladas.

Aunque el reciclado de los residuos de demolición es poco frecuente en España, y existen pocas obras de las que se disponga información, en otros países europeos su empleo es más habitual, alcanzando en algunos casos elevados porcentajes de reciclado. Además, en nuestro país son numerosos los estudios realizados por diferentes instituciones sobre su utilización en distintos campos de la construcción, como obras de tierra, carreteras u hormigón. En este aspecto hay que considerar los trabajos que está desarrollando el CEDEX con el fin de normalizar la utilización de los residuos de construcción y demolición RCDs en diferentes campos, que ha dirigido su línea de trabajo a realizar una “*Guía de utilización de áridos reciclados en carreteras*” y una “*Propuesta de normativa para la utilización de áridos reciclados en hormigón estructural*”, en la que se incluyen exclusivamente los áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón.

## 5. EXPERIENCIA PILOTO EN ESPAÑA: APLICACIÓN AL PROYECTO DEL PUENTE SOBRE EL RIO TURIA

En este caso, el reciclado de la estructura de hormigón implica que la naturaleza de los áridos que se obtengan sea bastante homogénea. Se ha decidido realizar el reciclado de la estructura en su totalidad, destinando una parte de los materiales a la nueva estructura y el resto a las obras de la carretera que une el puente con Paterna.

Las fases del estudio han comprendido en primer lugar una **caracterización de los materiales de la estructura**. Esta caracterización ha permitido, entre otros factores, definir los elementos de la misma que se reutilizarán en el hormigón del nuevo puente.

Se ha analizado también el **tipo de procesamiento** que se requerirá a los escombros producidos, para poder obtener un árido de características adecuadas. Finalmente se ha realizado un plan de **control de los materiales reciclados**, tanto del árido producido como del hormigón que se vaya a fabricar con él.

## 5.1. Caracterización de los materiales de la estructura

El punto de partida para caracterizar los materiales de la estructura, ha sido recopilar los datos disponibles del proyecto antiguo. Los materiales que componen cada una de los elementos del puente son los siguientes:

**Tabla 1: Resistencia de proyecto de los distintos elementos del puente actual**

ELEMENTO	RESISTENCIA	VOLUMEN
<b>TRAMO REFORZADO Y AMPLIADO</b>		
Pilas	Desconocido	300 m <sup>3</sup>
Vigas en II	Desconocido	240 m <sup>3</sup>
Ampliación de la losa	H-25	90 m <sup>3</sup>
Losa	Desconocido	130 m <sup>3</sup>
<b>TRAMO SUSTITUIDO</b>		
Vigas pretensadas	H-42,5	50 m <sup>3</sup>
Losa y dinteles	H-25	100 m <sup>3</sup>
Zunchado de pilas	H-20	-
Pilas	No se conoce	300 m <sup>3</sup>

Para obtener un mayor conocimiento de los materiales disponibles, se ha realizado una campaña de ensayos que han consistido en una inspección visual los materiales, que permita establecer zonas de muestreo y ensayos diferenciadas; y una combinación de ensayos no destructivos, esclerómetro y velocidad de ultrasonidos, conjuntamente con la extracción de probetas testigo.

Estos ensayos permitirán obtener información sobre la resistencia del hormigón colocado en obra, además de otra información complementaria como patologías que pueda presentar.

Según los criterios que establece el Código Modelo CEB-FIP de Hormigón Estructural para la valoración de la calidad del hormigón en función de la velocidad longitudinal de ultrasonidos, los hormigones que componen los

distintos elementos presentan una calidad variable (Tabla 2), siendo los hormigones de las vigas de calidad buena o excelentes, el hormigón de la losa excelente, el de los dinteles de calidad regular, y el de las vigas en II de mala calidad.

**Tabla 2: Resultados de los ensayos de velocidad de ultrasonidos y esclerómetro**

ELEMENTO	Velocidad (m/s)	Calidad	Esclerómetro
VIGAS	4033-4719	Buena o excelente	45-58
PILA 1	2586,7	Mala	49
PILA 2	3588,2	Regular	49
PILA 3	2992,0	Mala	43
PILA 4	2371,6	Mala	32
PILA 5	1575,5	Muy mala	37
LOSA	4592,4	Excelente	60
DINTEL PILA 3	3075,0	Regular	48
VIGA EN PI	2730,2	Mala	43

## 5.2. Demolición y procesamiento de los residuos

La demolición deberá ser selectiva, separando los materiales distintos al hormigón, como barandillas, etc. Además, se acopiarán de forma separada los materiales que vayan a reciclarse en el nuevo hormigón del resto de materiales, que serán empleados en la ampliación de la carretera.

En cuanto al procesamiento para la obtención de los áridos reciclados es más adecuada la selección de una planta móvil, que se sitúe lo más cerca posible a la obra, de forma que se elimine el transporte a una planta fija de reciclaje.

Esta planta móvil debe incorporar una trituradora de impacto, ya que es el tipo de trituradora que produce áridos de mayor calidad, además de un sistema de eliminación de materiales metálicos, procedentes principalmente de las armaduras, y un tamizado inicial para la eliminación de tierras acumuladas en los acopios. No harán falta sistemas adicionales de eliminación de impurezas ya que se trata de un material muy homogéneo.

Con este procesamiento, se pueden obtener a partir de los escombros de hormigón generados, áridos reciclados para ser utilizados en las obras del nuevo puente en Manises, tanto en el propio puente, como en las obras de ampliación de la carretera que une el puente con Paterna.

### 5.3. Condiciones de utilización

Las condiciones de utilización de los áridos reciclados y del hormigón, se han definido según los estudios realizados en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, que como se comentó anteriormente, ha realizado una propuesta de normativa para la utilización de árido reciclado en hormigón estructural. Los criterios generales establecidos son los siguientes:

- El árido reciclado así producido se utilizará como sustitución de una parte del árido grueso natural, en un porcentaje no superior al 20%. El árido mezcla así utilizado deberá cumplir las especificaciones que establece la EHE para los áridos naturales.
- Calidad del hormigón de origen  $f_{cm}$  deberá ser superior a 25 N/mm<sup>2</sup>.
- Resistencia máxima hormigón reciclado  $f_{cm} < 50$  N/mm<sup>2</sup>
- Estudios específicos en ambientes distintos al I y IIb.

A partir de estos criterios, se ha seleccionado los elementos que se van a utilizar del antiguo puente en el nuevo. Según los datos de la Tabla 1, con los datos que se conocen actualmente, los elementos que podrían utilizarse en el hormigón, por presentar una resistencia superior a 25 N/mm<sup>2</sup> serían en el tramo sustituido las vigas, losa y dinteles. En el tramo reforzado podría utilizarse el hormigón de ampliación de la losa, aunque debido a la complejidad que supone su separación durante la demolición se ha descartado.

En la Tabla 3 se han incluido los tipos de hormigón que se requieren para los distintos elementos del nuevo puente, además del volumen de hormigón y del volumen aproximado de árido que se necesitaría para una sustitución del 20% del árido grueso natural por árido reciclado. Si descartamos inicialmente los hormigones colocados en ambiente IIa, la selección se centrará en los elementos sombreados de la Tabla 3. Debido al carácter experimental del proyecto, se ha decidido elegir para ser reciclados aquellos elementos de mayor calidad, es decir, las vigas pretensadas (con un volumen aproximado de 50 m<sup>3</sup>), utilizando el árido reciclado producido a partir de ellas en la losa de uno vanos, de unos 90 m. de longitud.

El resto del material, tanto el procedente del tramo del puente sustituido como del tramo reforzado, se utilizarán en el tramo de carretera de acceso al puente de aproximadamente 750 m. de longitud. Con esto se consigue el reciclado de la totalidad de los residuos generados en la demolición del puente.

**Tabla 3: Tipos y volumen de hormigón de los distintos elementos del puente proyectado**

ELEMENTOS	RESISTENCIA	VOLUMEN	
		Hormigón	Árido reciclado
Hormigón en limpieza	HM-15/P/20/II a	87 m <sup>3</sup>	8,7 m <sup>3</sup>
Hormigón en cimentaciones	HA-25/B/20/II a	2.400 m <sup>3</sup>	240 m <sup>3</sup>
Hormigón en pantallas	HA-25/F/20/II a	2.640 m <sup>3</sup>	264 m <sup>3</sup>
Hormigón estribos	HA-30/B/20/II b	240 m <sup>3</sup>	24 m <sup>3</sup>
Hormigón en pilono	HA-35/B/12/II b	580 m <sup>3</sup>	58 m <sup>3</sup>
Hormigón en imposta	HA-30/B/12/II b	43 m <sup>3</sup>	4 m <sup>3</sup>
Hormigón en losa	HA-35/B/12/II b	Vano 1-400 m <sup>3</sup> Vano 2- 900 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup> 90 m <sup>3</sup>

## 5.4. Control de los materiales reciclados

Se va a realizar un control detallado de los materiales reciclados, tanto del árido como del hormigón.

Las propiedades que se van a estudiar son: las propiedades físicas y químicas que establece la EHE para los áridos naturales y adicionalmente algunas propiedades específicas propias de estos áridos, como son el contenido de mortero adherido, el contenido de arena reciclada o el contenido de cloruros totales. Los áridos producidos deberán cumplir las especificaciones que se han establecido a partir de los estudios realizados en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, y que se recogen en la ponencia “Evaluación de las propiedades del árido reciclado”, presentada en este Congreso.

Respecto al control del hormigón reciclado se llevarán a cabo estudios de dosificación en laboratorio y se controlarán las propiedades tanto en estado fresco como del hormigón endurecido.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio comparativo con el fin de justificar la conveniencia de sustituir, por otra estructura con mayor capacidad de desagüe, el puente a través del que la carretera CV-371 (VV-6117) entre Paterna y Manises cruza sobre el río Turia.

En vista de lo expuesto, rehabilitar la estructura actual de vigas no mejora las condiciones de desagüe del puente y presenta un coste y unas complicaciones bastante considerables y, como se indicaba en el preámbulo del presente artículo, la reutilización del hormigón en la construcción del nuevo puente, preservará el patrimonio real de la estructura actual. El empleo de sus materiales constituyentes en la nueva estructura salvaguarda el valor real del antiguo puente.

Debido al carácter novedoso que supone la utilización de áridos reciclados en hormigón, especialmente en el tipo de estructura proyectada, el reciclado se realizará sustituyendo un porcentaje máximo del 20% del árido grueso natural por árido grueso reciclado en el hormigón HA-35 utilizado en la losa del nuevo puente.

Este proyecto supone un hito en el ámbito del reciclado de residuos de construcción y demolición, tanto en nuestro país como a nivel internacional, por la tipología del puente proyectado. Esto servirá, sin duda alguna, para aportar un mayor conocimiento de estos materiales y fomentar su empleo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el interés por el tema planteado y el apoyo ofrecido de diferentes instituciones, en especial de la Diputación Provincial de Valencia y la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente,

De forma personal queremos agradecer a D. Enrique Crespo, Diputado de Carreteras de la Diputación Provincial de Valencia, y D. Jose Antonio Aranda, Director Técnico de la Diputación Provincial de Valencia, la confianza depositada en este proyecto, y su apoyo y promoción desde el inicio. Ellos son sin duda ellos los principales protagonistas de un avance muy significativo en la reutilización del hormigón, un viejo material, en nuevas estructuras.

Del mismo modo, agradecemos a: CM Arquitectura, Ingeniería, Urbanismo y Medio Ambiente, S.L.; Diputación Provincial de Valencia; HORMICEMEX; TEC.REC. Tecnología y Reciclado, S.R.L.; DETECSA. Demoliciones Técnicas, S.A.