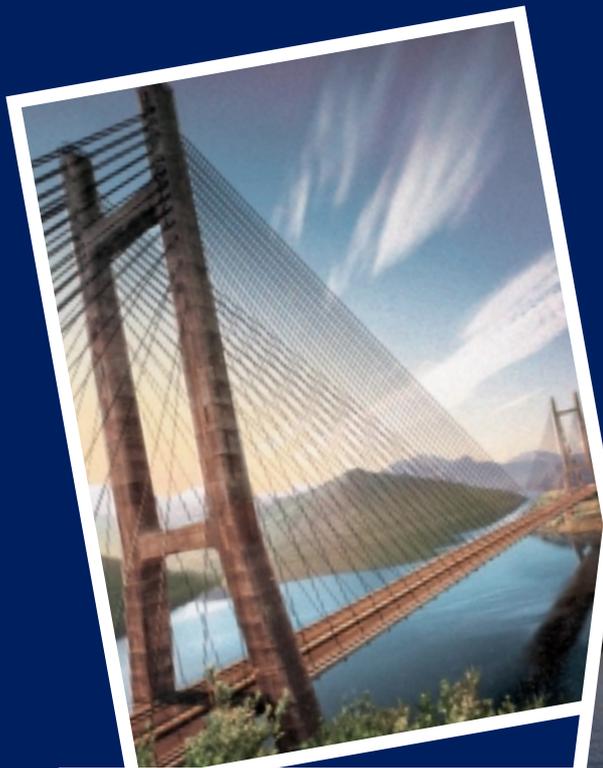


Revista del Ministerio de
FOMENTO

Nº 531 • Julio-agosto 2004 • 6 €



33 Puentes singulares de España



9 771577 458013



Nº 531 ● Julio-agosto 2004

Edita:

Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Fomento

Director de la Revista:

Antonio Recuero

Edición: Javier R. Ventosa

Confección: J. A. Laiz

Secretaría de redacción: Mercedes Canero

Fotografía: José Caballero, J. Félix Marín
y M. D. Cordero

Portada: Antonio Aragüez

Archivo fotográfico: Juan Santiso

Elaboración página web:

www.mfom.es/publicaciones. Miguel Ángel Calvo
y Conchita Tejedor.

Asesoramiento:

Mercedes López, Miguel Aguiló y Javier Rubiato.

Colaboran en este número:

Soledad Búrdalo, Eloisa Colmenar, Elvira F. Martín, Luis Guijarro, María del Carmen Heredia Campos, Pepa Martín, Víctor Medina, M^a del Mar Merino, José I. Rodríguez, Raquel Santos y Beatriz Terribas.

Administración: José Jesús García-Rojo Merlo

Suscripciones: Ángel Soto y Aurora San Juan
Don Ramón de la Cruz, 71. Bajo dcha. 28001
Madrid. Teléf: (91) 3 09 24 71*

Madrid. Teléf: (91) 3 09 24 71*

Fax: (91) 3 09 11 40

Información de publicaciones del Ministerio

de Fomento: (91) 597 64 49/78

Dirección:

Nuevos Ministerios. Paseo de la Castellana, 67.

28071 Madrid. Teléf. (91) 5 97 80 84. Fax. (91)

5 97 84 70. Redacción: Teléf. 5 97 72 64 / 65

E-mail: cpublic@mfom.es

Comité de redacción:

PRESIDENCIA:

Tomás Merola Macanás

Vicepresidente:

Ramón Lorenzo Martínez

Vocales:

Inmaculada G. Mardones,

Dirección de Comunicación.

Mónica Corrales,

*Secretaría de Estado de Infraestructuras y
Planificación.*

Carlos Ibarz del Olmo,

Secretaría General de Transportes.

Ana Isabel Vázquez,

Subsecretaría.

Susana España,

Dirección General de Aviación Civil.

Miguel Ramírez Sánchez Rubio,

Director del Gabinete Técnico del CEDEX.

Emilio Sidera Leal,

Dirección General de Transportes por Carretera.

Antonio Molinero Gutiérrez,

Dirección General de la Marina Mercante.

Antonio Recuero Almazán,

Director de la revista.

**Fotomecánica, montaje, impresión,
encuadernación, distribución y publicidad:**

V. Barberá S.L.

Gestión de publicidad:

Adela L. García

Don Ramón de la Cruz, 71. bajo dcha

28001 Madrid. Teléf. (91) 309 24 71*

Fax. (91) 309 11 40

Dep. Legal: M-666-1958. ISSN: 1577-4589.

NIPO: 161-04-010-X.

Esta publicación no se hace necesariamente
solidaria con las opiniones expresadas en las
colaboraciones firmadas.

Esta revista se imprime en papel ecológico

Están ahí, los puentes, librando de impedimentos los caminos o tendidos como espléndidos miradores con el presente de las más sugestivas vistas siempre a mano, tan entregados a su causa del transporte –físico y contemplativo– que muy a menudo a nosotros, sus usuarios, meras gentes de paso, conductores fatalmente urgentes, nos pasan desapercibidos.

Y es que con los puentes nos sucede también tantas veces como con las cosas y seres -tan inspirados, amenos, equilibrados y serenos parecen algunos de ellos que cabe preguntarse de qué gran virtud humana carecen– más entrañables: sólo cuando desaparecen caemos en la cuenta de su pérdida irreparable. Fue tan sólo imaginar que una obra de la perfección del puente romano de Alcántara pudiera ser derruido, que bastó para inspirar al rey Alfonso V de Portugal, durante la guerra de Sucesión al trono castellano, uno de los gestos más memorablemente gallardos de la Historia: informado de que los defensores de la villa cacereña planeaban derribarlo para cortarle el paso, no vaciló en replicar que antes rodearía el lugar cuanto fuera necesario que ver el reino de Castilla con aquel edificio menos.

Mas ante la visión de un puente en ruinas nos estremece no sólo la fatalidad de la belleza o la utilidad mutiladas, sino también, y quizá incluso muy por encima de las más altas consideraciones que nos merezcan sus valores estéticos o utilitarios, la impresión de que su quiebra es también, en cierto modo, la de nuestra libertad. Juan José Arenas de Pablo en su libro *Caminos en el aire*, ese deslumbrante gran relato en el que los puentes se nos revelan con la palpitación de la vida, nos recuerda que el supremo ofrecimiento de estos ingenios no deja de ser la suma de dos libertades: la que deparan a los hombres que los transitan y a las aguas que corren bajo ellos.

Los puentes nos otorgan libertad de movimientos superando los escollos de la orografía que se interponen como confin. Son, pues, superación del abismo como límite en su sentido más literal. Y también en su sentido más figurado, porque no en vano comparten con los faros el hecho de ser los ingenios con más potente y sugestiva carga simbólica. Puente es todo lo que une mundos o ideas separadas, lo que allana dificultades, permite acceder y explorar lo remoto, salvar el vacío e, incluso, el fastidio de un día laborable entre dos festivos...

Después de 17 años esta publicación se aproxima otra vez a los puentes españoles. En esta ocasión no hemos pretendido abarcar los densos territorios históricos de aquella *Guía de los puentes*, que daba cuenta en extenso de ese rico legado patrimonial, sino reparar más singularmente en él y en la evolución del arte de su construcción a través de unas pocas obras escogidas. Para completar la visión de aquella Guía, nos ha parecido obligado detener más la mirada en aquellas obras realizadas durante el último siglo, y en particular, en estas últimas dos décadas. Hemos contado en esa tarea con la ayuda tan valiosa como desinteresada de la cátedra de Arte y Estética de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid y, cuando ha sido posible, con la de los propios autores de los proyectos, que nos han aportado su testimonio de primera mano así como abundante documentación gráfica. A todos ellos queremos expresarles nuestro más sincero agradecimiento. ■

ANTONIO RECUERO

Julio-agosto 2004

1

Un espléndido presente

JAVIER RUBIATO | PROFESOR DE ARTE Y ESTÉTICA DE LA INGENIERÍA. E. T. S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. UPM.

La palabra “singular” tiene en el diccionario distintas acepciones. Sea cual sea su aplicación, señala lo de único, sin par, extraordinario o excelente de algo o de alguien. La idea de este número, en principio, fue la de recoger una serie de puentes representativos del siglo XX, o mejor dicho, del momento constructivo que estamos viviendo. En este terreno el avance significativo en las técnicas, la proliferación de obras por toda España, su relación con las mejoras urbanas de gran número de ciudades y la nueva percepción de este bien denotan la relevancia que el puente ha alcanzado en nuestra sociedad.

Está claro que en estos últimos 25 años se ha producido una aceleración de la construcción y un avance en el diseño, en la calidad y en la variedad de materiales, pero igualmente es cierto que también se han producido cambios destacables en la vida española.

Al apreciar la situación hicimos un breve repaso por las obras del pasado. A pesar del cambio producido, este presente tan rico tiene sus bases en una larga tradición histórica de construcción de puentes. Resultaba casi obligado repasar las obras antiguas para ver de dónde veníamos, dónde estamos y qué perspectivas se abren para el futuro. Así, a la primitiva idea se sumó la de añadir una selección de obras históricas.

Otra cuestión fue la de decidir el número de obras a las que hacer referencia, aspecto que limitaba la cantidad, aunque para dar una visión de conjunto era necesario no acotar en exceso. Llegamos a la idea de treinta, tomando la decisión final de treinta y tres.

Del conjunto, sólo la tercera parte es obra antigua. En una lógica proporcional al desarrollo cronológico son pocos, pero la idea seguía siendo volcarse en las realizaciones más cercanas a la actualidad.

Seleccionar 33 puentes singulares tiene su dificultad, no por la escasez de los mismos o la falta de excelencia, sino al contrario. La gran cantidad y calidad de la obra construida en España dificulta el asunto. El carácter nacional de la publicación y nuestro propio deseo nos ha llevado a que estuviera representado todo el país, siguiendo un criterio territorial equilibrado.

Ante un panorama tan amplio hay que hacer matices, pues estamos hablando de dos asuntos diferentes. Uno de puentes históricos, legado de tiempos pretéritos, y otro, bien distinto, de obras actuales.

Elegir los puentes antiguos no resultó tan complicado. No era el momento de hacer una selección exhaustiva. Se trataba más bien de elegir ejemplos que

representaran cada etapa histórica en la construcción de puentes. Con el número limitado se creyó oportuno seleccionar dos para cada época. No necesariamente los más sobresalientes sino aquellos que por su configuración, proceso de ejecución, avance técnico o arraigo entre las gentes pueden trascender su valor más allá de la importancia de la obra. Se trata, en definitiva, de echar un breve vistazo a la historia a través de unos puentes concretos, y con ello observar la evolución en materia de construcción. El lector puede echar en falta algún puente. Al igual que los aquí relacionados, podían haber sido elegidos muchos otros puentes de gran importancia o, mejor, muy conocidos, y otros no tanto.

Son pocos puentes para un proceso histórico tan largo, más de dieciocho siglos, desde el dominio romano hasta el siglo XIX. Son éstos, los romanos, los que con su talante constructor y sus técnicas marcan la trayectoria constructiva de este gran periodo, pues los materiales, procedimientos y métodos apenas cambian a lo largo de todo este tiempo. Todo ello tiene como consecuencia la uniformidad de los puentes antiguos, con la piedra como material casi único y la bóveda como elemento constructivo básico. Esta continuidad no resta singularidad a cada etapa, impregnada de espíritu propio.

Ese legado supone un rico patrimonio en el que España es privilegiada. Fueron los ingenieros los primeros en ser conscientes de este hecho. Es el momento de recordar a pioneros en este tema, como Celestino Espinosa, Carlos Fernández Casado o José Antonio Fernández Ordóñez, seguidos hoy por otros, como Leonardo Fernández Troyano, Juan José Arenas, etc.

Lo mismo sucede con el patrimonio del siglo XIX, un periodo muy especial. Supone el despegue de la industrialización y un sinfín de cambios, también en materia de puentes. Por primera vez se pone en práctica la ciencia del ingeniero. Hasta ahora las obras se realizaban de modo intuitivo. A partir de este momento no se hará nada sin el cálculo científico. Fue necesario crear las Escuelas de Ingenieros de Caminos para la formación de personal cualificado. Hay todo un mundo en el que agilizar las comunicaciones. Es una etapa de entusiasmo y de descubrimientos. Es el siglo del ferrocarril, que se extiende por todo el mundo, impulsando los nuevos tiempos. La piedra deja



de ser el único material para construir los puentes. Surge el hierro, y ambos materiales conviven y compiten a un tiempo. Por primera vez hay una gran diversidad tipológica. Además de los puentes abovedados surgen los de vigas, de alma llena y en celosía, colgantes. Todo un abanico de posibilidades puebla el paisaje. Es el momento en que se consiguen salvar cauces que hasta ahora resultaba imposible que tuvieran un paso fijo. Esto llevó a construir obras cargadas de significación, muy añoradas y con gran apego popular.

Es el caso del puente de Isabel II, el de Triana. O se ensayan nuevas tipologías para permitir el tránsito tanto terrestre como fluvial, como se consigue con el transbordador-puente de Portugalete. Las fronteras se hacen más permeables, como con el puente internacional de Salamanca.

Una nueva idea se instala en las mentalidades, la del progreso como avance constante. Los cambios traen a su vez nuevos cambios. Es un proceso progresivo y acelerado. El deseo de saber hace incipiente un nuevo material, el hormigón, y con él la carretera. Nuevos elementos "al acecho" de la supremacía del hierro y el ferrocarril, que deberán esperar al siglo siguiente. Todo un mundo, esta etapa decimonónica, diferente a la tradición, pero también hoy historia y patrimonio.

Llegados al siglo XX la selección se hace más complicada debido a varios factores. Entre otros, el gran número de autores y obras, la diversidad en tipologías y materiales, así como el empleo de alta tecnología, pero sobre todo el hecho de estar nosotros mismos inmersos en el proceso y, por tanto, no tener suficiente perspectiva. Aun de esta forma, en gran parte del siglo se sigue una trayectoria en progresión, pero todavía lineal. Hay grandes adelantos en la construcción. Se generaliza el uso de hormigón, primero armado y luego pretensado, también de acero, con los consiguientes avances científicos que estos materiales aportan.

Un gran número de ingenieros agiliza las comunicaciones del país con la construcción de puentes en carreteras. Sin ellos no hubiera sido posible llegar al momento actual. Son precursores de las nuevas técnicas. Sirvan estas líneas para recordar, entre otros, a Ribera, Zafra, Torroja o Fernández Casado, que han aportado su saber para el avance de todos: la ligereza del viaducto del Pino, el reto del cruce del Ebro en Amposta, la elegancia del viaducto de Martín Gil o la revolución que supuso construir el puente de Castejón. Todo ello es prueba de esta dedicación.

Aunque el ritmo de realizaciones continúa a lo largo del siglo, aparentemente parece disminuir hasta el inicio de los años ochenta. A modo de bisagra entre la progresión paulatina del siglo y la efervescencia constructiva de los últimos veinte años se encuentra el puente del Milenario, una obra que con su audacia y origi-

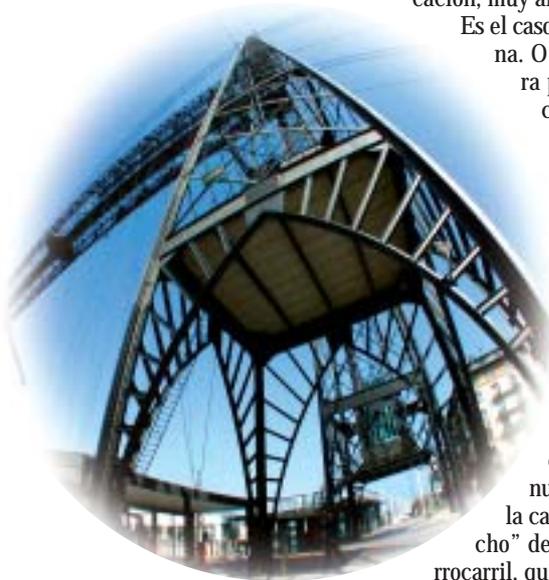
nalidad abre las puertas, junto al de Barrios de Luna, a una nueva etapa. Desde entonces se produce un gran avance en la construcción de puentes. Las causas son varias, entre otras el despegue económico, el advenimiento de una sociedad más libre y democrática, la participación en la Expo 92, las Olimpiadas o distintos eventos culturales y deportivos, unido a las innovaciones tecnológicas y a nuevos procesos constructivos, que llevan al *boom* de la ingeniería estructural española.

El puente se convierte en el protagonista. Además de en el ámbito rural, aislado, en autovías, sobre embalses o parajes naturales, el escenario privilegiado es la ciudad. Se transforma en icono de la urbe. Ya no sólo debe cumplir la función de facilitar el paso; también debe ser insignia urbana, objeto que se contempla, se visita, se pasea. Es una nueva percepción para el puente, como objeto de diseño, obra de arte. Dominadas las técnicas y superada la cuestión económica, lo importante es la estética y la belleza. El puente encuentra su lugar superando la materia. Sin duda, un fenómeno nuevo. La ciudad ávida de servicios ha demandado plazas, mercados, estaciones, también puentes en el pasado, pero no con este nuevo sentido. Se construyen así nuevos puentes en Sevilla, Valencia, Bilbao, Zaragoza, Logroño, entre otras ciudades. Son efigie de la nueva ciudad.

Hasta ahora la ingeniería había aportado progresos, pero ante esta nueva demanda aporta también diseño. La variedad de posibilidades permite que no sólo se cuiden los alzados. También las plantas, los accesos, los materiales, los acabados, texturas, colores y un largo etcétera en detalles. La ingeniería comparte el espacio urbano reservado hasta ahora a la arquitectura.

Un grupo de ingenieros ha hecho posible la realidad actual, repartiendo su obra por todo nuestro territorio: Florencio del Pozo, Javier Manterola, José Antonio Fernández Ordoñez, Julio Martínez Calzón, José Luis Manzanares, Juan José Arenas, Marcos Pantaleón, Leonardo Fernández Troyano, Santiago Pérez Faldón, Santiago Calatrava, Hugo Corres y Javier Rui Wamba, maestros actuales. Han sido, entre otros muchos, los seleccionados para ilustrar este avance. Al observar sus aportaciones se intuyen diferentes líneas de actuación que conforman distintas tendencias. Desde las más racionalistas, próximas a la idea tradicional del ingeniero buscando la funcionalidad, la economía, incluso la discreción, y otras más relacionadas con la expresión plástica de los materiales, su moldeabilidad y las formas, que podría calificarse de tendencia artística. Entre ambas hay todo un abanico de posicionamientos. En todo caso, los resultados son muy interesantes, y han convertido a España en un referente en el panorama internacional.

Este presente permite vislumbrar perspectivas muy alentadoras para este siglo que ya se está construyendo. Es de esperar, como consideran K. Bloomer y W. Moore, que las nuevas estructuras generen desde sus bordes y pretilas las vistas más hermosas y atractivas que embellezcan nuestras ciudades, valles y ríos. En nuestro país se han construido obras muy singulares, más de las que podían recogerse aquí. Un espléndido presente y un esperanzador futuro. ■





Armonía perdurable

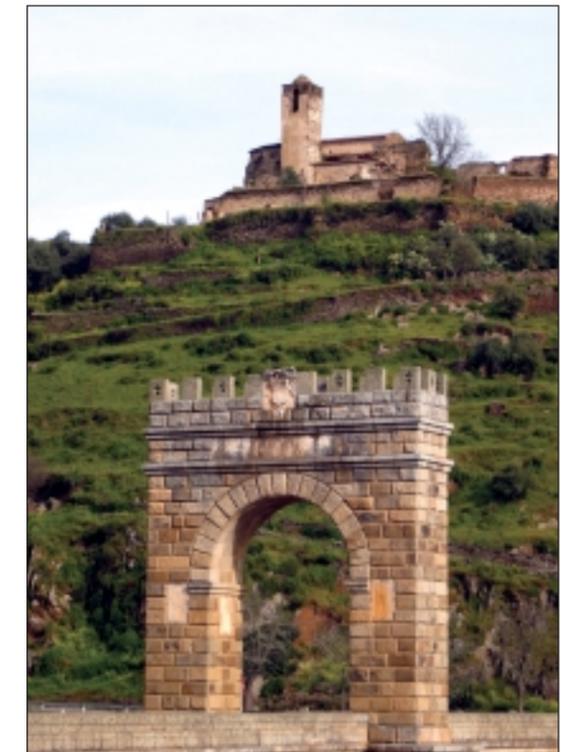
BEATRIZ TERRIBAS | FOTOS: CABALLERO

Casi veinte siglos han pasado desde que, en tiempos de Trajano, el arquitecto Caius Iulius Lacer levantara sobre el caudaloso Tajo, en la vía que comunicaba Norba (Cáceres) con Conimbriga (Condeixa-a-Velha), esta obra maestra, prototipo de los puentes de la época imperial. Su elegante silueta ha permanecido prácticamente inalterable hasta hoy pese a los estragos del tiempo, la naturaleza o las locuras de las guerras.

Vista general del puente y detalle del arco conmemorativo en honor del emperador Trajano.

La extraordinaria ejecución del puente, que toma su nombre del término árabe Al-Kantara, que significa precisamente puente, y la calidad de sus sillares de granito, procedente de la cercana cantera de Peñas Albas, han permitido su admirable longevidad.

Según el ingeniero Carlos Fernández Casado, en



él se funden las tres cualidades que para Vitrubio debían reunir todas las obras: “firmitas, utilitas, vetustas” (solidez, utilidad y belleza). Sus armoniosas proporciones son fruto, además, del respeto a otro de los principios que orientaba las construcciones romanas, la “eurithimia”, definido como la equilibrada proporción entre la altura, anchura y longitud de todas las partes de la obra.

La imposibilidad de Lacer para salvar el cauce con un solo arco le obligó a proyectar una original composición que se estructura en torno a un pilar central, eje de todo el conjunto, levantado forzosamente en el lecho del río. Su emplazamiento condicionó además el diseño de la obra con un número par de arcos, contrariamente a los cánones habituales, que consideraban el número impar como el apropiado para alcanzar la perfecta simetría de los puentes.

Seis bóvedas de cañón con arcos de medio punto sustentados por cinco pilas componen su estructura. La central y las dos inmediatas son de planta rectangular, prolongándose sus tajamares triangulares desde los cimientos hasta el arranque de los dos arcos principales. Éstos poseen la máxima luz de los puentes romanos que aún se conservan, 28,80 y 27,40 m, respectivamente, reduciéndose en los de los extremos a 18 m, con el fin



de transmitir la presión de los mayores hacia las laderas del río.

Toda la fábrica es de sillería aparejada en seco y dispuesta en hiladas a soga y a tizón, es decir, alternando la colocación de los sillares unas veces de forma paralela y otras perpendicular, mientras que el corazón del puente es de hormigón. Tan potente argamasa al verterse fluida penetraba desde el interior por las ranuras de sus sillares, que alcanzaban una inquebrantable cohesión al solidificarse el hormigón.

► FIRME ANTE AVENIDAS

A simple vista podría parecer desproporcionada la altura de la rasante, 50 m, con respecto al cauce del río, pero Cayo Iulius Lacer había estudiado muy bien los cambios estacionales de su caudal y sus grandes avenidas seculares, que, gracias a su maestría, en ningún momento han logrado rebasar el tablero del puente.

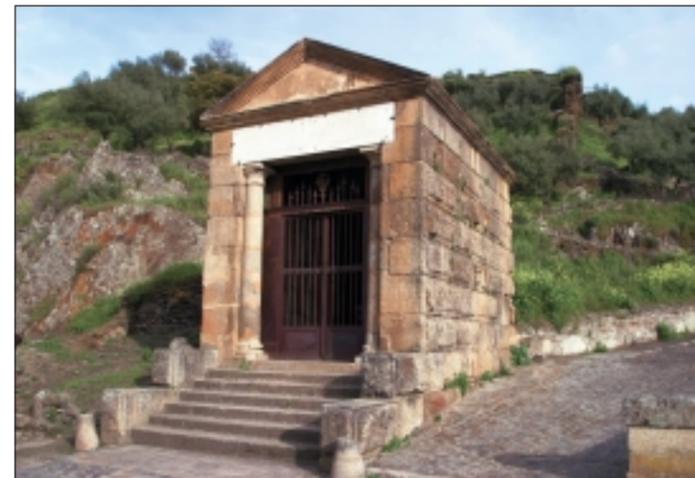
Un arco conmemorativo en honor del emperador Trajano remata la obra. De trazas tan sobrias como las del puente, se alza sobre los contrafuertes de la pila central, incrementando aún más su verticalidad. En él sobresalen una inscripción alusiva al emperador y a la fecha en que concluyó la edificación, año 104 d. de C., y en uno de sus manchones una lápida con los nombres de los once municipios lusitanos que financiaron la construcción del puente.

Poco se sabe del origen de Caius Iulius Lacer, pero quiso la suerte que su nombre no perciese en el olvido, quedando grabado para siempre, como el autor de “este puente que durará mientras dure el mundo”, en el dintel del templo situado en el extremo oriental del puente y erigido para implorar la benevolencia de los dioses de Roma tras haber violentado con su construcción el curso del Tajo.

Lacer, que murió en Alcántara, como atestigua una inscripción funeraria del templo votivo, afortunadamente no contempló los



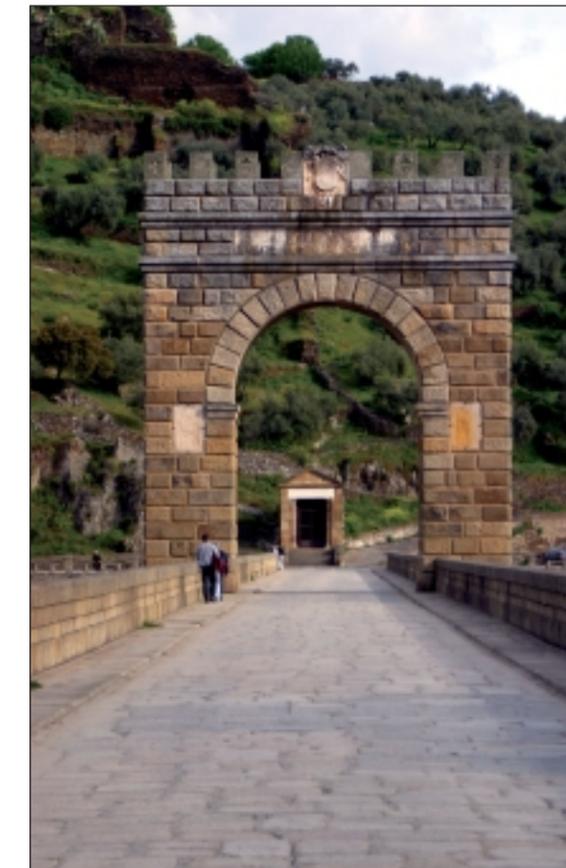
En el dintel del templo se lee: “Este puente durará mientras dure el mundo”



Diferentes aspectos del templo votivo en el que supuestamente descansan los restos del constructor del puente, Cayo Julio Lacer.



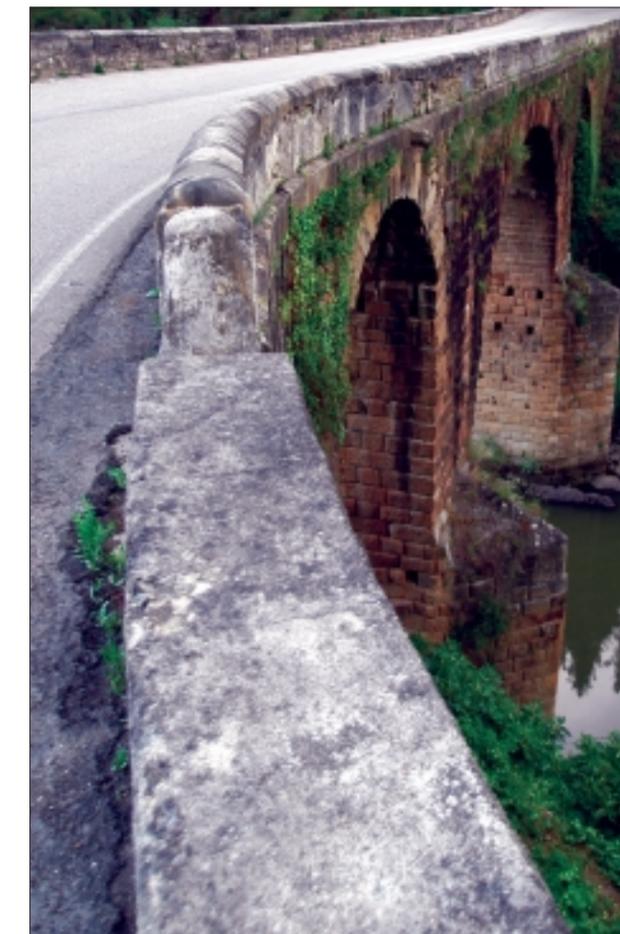
destruozos sufridos por su obra a lo largo de la Historia. Durante la Reconquista, bien a manos de los sarracenos o de los cristianos, quedó sin un arco, que fue reconstruido por Carlos I, quien además le devolvió su apariencia original privándole de las fortificaciones medievales que impedían el paso y coronando al arco honorífico con un almenaje que luce su escudo imperial. Durante la Guerra de Sucesión del siglo XVIII, que enfrentó a portugueses y españoles por sus pretensiones a la Corona Española, se destruyó el segundo arco de puente, que, por esas paradojas de la Historia, tras haber sido restaurado por Carlos III volvió a sucumbir durante la Guerra de la Independencia a manos de los ingleses. Una rudimentaria pasarela de madera lo sustituyó hasta 1836 cuando fue presa de las llamas durante la contienda carlista. Gracias a la intercesión de la Real Academia de la Historia ante la reina Isabel II, entre 1856 y 1880 el ingeniero Alejandro Millán acometió una completa restauración de toda la obra. En fechas más recientes, a raíz de la construcción de la cercana presa de Alcántara, se emprendieron las últimas reparaciones de envergadura centradas en reforzar los cimientos de sus pilas. Finalmente, el pasado mes de julio se aprobó una nueva reparación del arco ho-



norífico y del tablero, incluida en el Programa de Recuperación del Patrimonio Arquitectónico y las Obras Públicas con Valor Patrimonial o Histórico: Puentes y otras Obras de Ingeniería emprendido por el Ministerio de Fomento y financiado con cargo a los fondos procedentes del 1% Cultural, que gestionan conjuntamente dicho Ministerio y el de Educación y Ciencia. ■

PUENTE DE ALCÁNTARA

Situación: En la carretera EX117, sobre el Tajo y en las inmediaciones de la localidad cacereña de Alcántara
Época de construcción: En torno al 104 d.C.
Autor: Cayo Julio Lacer
Longitud total: 195 m.
Altura de rasante: 51 m.
Anchura del tablero: 8 m.



Esbelta solidez

BEATRIZ TERRIBAS | Fotos: J. FÉLIX MARÍN

Casi intacto hasta nuestros días, esta esbelta obra del periodo imperial que salva la abrupta garganta del río Bibei (en el límite de Ourense y Lugo) condensa en sus sillares, prodigio de cantería, el sabio quehacer de los pontífices romanos para erigir obras tan sobrias y efectivas como bellas.

Esta obra es un ejemplo de la pericia de los arquitectos romanos para erigir puentes resistentes y esbeltos.



PONTE BIBEI
 DECLARADO MONUMENTO HISTÓRICO-ARTÍSTICO NACIONAL
 (D. 3 JUNIO 1931, B. de 4/6/1931)
 PUENTE ROMANO RECONSTRUIDO PROBABILMENTE EN TIEMPOS DEL
 EMPERADOR TRAJANO (79-119 D. J. C.), PARA EL PASO DE LA
 "VIA NOVA"
 CALLEJA GRANITICA ALMONDELLAZA EN "OPUS QUADRANTUM"
 ARENOSA EN SESO
 LONGITUD: 75,35 m.
 ANCHURA: 7,05 m.
 ALTURA: 23,30 m. (TRAVESÍA CLAVE A FONDO RIO)
 VANO ARCO: 6,10-10,50-6,80 m. (de N. a M. D.)
 ANCHO RIAS: 4,20 m.

Declarado Monumento Histórico-Artístico en 1931, se erigió, como el de Alcántara, durante el gobierno del emperador Trajano, concretamente entre los años 114 y 119 d. de C. Es una de las obras más importantes de la Vía XVIII del Itinerarium Antonini (repertorio de los caminos del imperio), que fue levantada para dar una mayor cohesión a las comunicaciones del noroeste y, sobre todo, para conectar las localidades de Asturica Augusta (Astorga) y Bracara Augusta (Braga) por un itinerario más corto y de pendientes más suaves que las anteriores vías. Por todo ello pasó a conocerse como Vía Nova, según las inscripciones de los miliarios de la época que se conservan con abundancia en numerosos puntos de los casi 320 km. de que constaba su recorrido, especialmente en las comarcas orensanas de Trives y Valdeorras.

► SOLIDEZ ROMANA

La solidez de este puente que salva las aguas del río Bibei entre las localidades de A Pobra de Trives (provincia de Ourense) y Quiroga (Lugo) ha per-



mitido que continúe sustentando uno de los tramos de la antigua carretera N-120, hoy C-536, desde el momento de su trazado a finales del siglo XIX. El estudio previo de la obra ya señalaba su perfecto estado de conservación aunque lo considerase algo estrecho, 7 metros, para la misma.

Una vez más, el diseño de esta obra civil pone de manifiesto la pericia de los arquitectos romanos de la época imperial para erigir puentes resistentes y al mismo tiempo esbeltos, capaces de garantizar su efectividad. El puente mantiene aún en sendos márgenes los sólidos muros de encauzamiento; uno de ellos, el izquierdo, semiculto en los bancales de viñedos, tiene 9 metros, y el de la derecha alcanza los 17 metros de longitud y algo

más de 5 metros de altura. La profunda garganta del río queda salvada con tres bóvedas de cañón desiguales, siendo mayor la central que asienta en sendos pilares muy próximos a las orillas. Esa proximidad apunta la posibilidad de que los pilares fueran cimentados en el lecho rocoso del río en época de muy bajo estiaje. Las pilas son de planta rectangular, con tajamares triangulares apuntados en sentido contrario a la corriente.

Los tajamares acababan en mesetas planas, pero durante las reparaciones realizadas en 1861 se remataron con un copete piramidal que aún hoy conservan.

La rasante horizontal, situada a 22,5 metros de las aguas, la amplitud del arco central, 18,51 metros, y la disposición a la misma altura de las claves de éste y de las de los dos arcos ad-

El puente salva el río Bibei con tres bóvedas de cañón desiguales. Derecha, miliarios de la Vía Nova.

El puente fue uno de los pasos cruciales de la Vía Nova, que unía las ciudades de Braga y Astorga



yacentes, es decir, la dovela central de cada uno de ellos, han permitido en tiempos de riadas la fácil evacuación del agua sin que su fuerza y elevación sobre el nivel habitual ocasionase desperfectos o rebasara el tablero. Por otro lado, la

desigual luz de los arcos, que se reduce en los laterales a 6,09 metros y 8,77 metros, es fruto de su forzosa adaptación a las márgenes del río, donde pueden observarse también los muros de encauzamiento antes mencionados.

► DESTREZA EN CANTERÍA

El puente es de sillería almohadillada de color rojizo, dada la cantidad de óxido de hierro que contienen sus piezas aparejadas a soga y tizón sin argamasa. En algunas de ellas se conservan las marcas de los canteros que las labraron, biselando además con admirable destreza sus aristas. Curiosamente, en las pilas, de planta rectangular y algo más de 4 metros de anchura, y en sus tajamares triangulares pueden apreciarse los mechinales donde se ensartaban los andamios de la construcción. También son visibles en el intradós de la bóveda del arco central, sirviendo aquí como apoyo de las cimbras, importante artificio de madera de forma semicircular que actuaba durante la construcción como soporte de bóvedas y arcos.

El puente de Bibei ha llegado prácticamente intacto hasta nuestros días aunque se tiene conocimiento de la rotura parcial de uno de sus arcos durante la Guerra de la Independencia y de algunas mejoras efectuadas en la sillería durante el trazado de la carretera en 1868. La última actuación, consistente en la limpieza del puente y el sellado de algunas juntas y grietas de sus sillares, se realizó en 1999 con motivo de la rehabilitación de su entorno, centrada en la construcción de un habitáculo para la exposición de los miliarios encontrados bajo el puente y de un panel informativo del camino romano y del puente de Bibei, donde finaliza. ■

PUENTE DE BIBEI

Situación: En la CM-636, entre A Povra de Trives (Ourense) y Quiroga (Lugo)

Época de construcción: Entre el 114 y 119 d. C.

Tipología: Puente de fábrica, con tres bóvedas de cañón de sillería

Longitud total: 75 m.

Anchura del tablero: 6,2 m.

Altura de rasante: 26 m.



Este puente está situado sobre el río Fluví y daba acceso a la antigua capital del condado, la villa de Besalú, conjunto histórico-artístico medieval considerado hoy como uno de los mejor conservados de Cataluña.

Todo él es irregular, típica característica de las obras del Medioevo. Cuenta con ocho arcos de medio punto, desiguales y pertenecientes a épocas distintas. Fueron levantados siguiendo una curiosa disposición angular, motivada probablemente por el aprovechamiento de las rocas del lecho del río como fundación o basamento.

Se cree que fue construido en el siglo XII por orden de los condes locales sobre un puente romano. La fábrica actual más antigua corresponde a las dos bóvedas más cercanas a la población. En todo caso, la primera mención escrita que se conoce de este puente corresponde al año 1075, cuando se le describe como tendido sobre el río "Fluvianus".

A lo largo de los siglos el puente sufrió varias reformas y reconstrucciones. La primera de ellas en el siglo XIV, pues ya en 1315 la obra estaba destruida, y consta el interés que mostraron algunos nobles catalanes ante el rey Jaime I por reedificarlo y poder costear las obras por medio de un pontazgo.

También se tienen noticias de curiosidades como ésta: los pleitos que unos vecinos pusieron al alcalde en 1320 por considerar que la altura de

Airosa fortaleza

M^a DEL MAR MERINO | Fotos: CABALLERO

El Puente Viejo de Besalú es uno de los puentes que más inequívocamente guarda su airosa y compacta semblanza medieval, con sendas puertas en el arranque de los firmes torreones, en el centro y en su entrada, y sus sólidos contrafuertes entre arcos.

La fortificación del puente fue decidida por el rey Juan I en 1390.





la bóveda era excesiva y afectaba a sus propiedades. Fue esta razón la que hizo que el arco fuera finalmente construido más bajo.

► **PUENTE-FORTALEZA**

Fue fortificado y reconstruido en 1390 por el rey Juan I tras el sitio perpetrado por el conde de Armagnac. Esta función defensiva se materializa en las dos impresionantes torres que lo protegen, situadas en el centro y el acceso al puente, que servían además para cobrar peaje o “pontazgo” de circulación, práctica muy común en la España medieval.

Necesitó importantes intervenciones entre 1381 y 1403 a consecuencia de las fortísimas inundaciones que se sucedieron durante esos años. De las obras que tuvieron que llevarse a cabo quedan, aún hoy, las numerosas marcas de canteros que se vislumbran fundamentalmente en las pilas.

Otra gran reforma del puente tuvo lugar en 1680, pues se hallaba en muy mal estado. Las piedras con relieves de cruces y escudos que aparecen incrustados en la fábrica pertenecen a ese momento.

Aún así, los peores tiempos para el puente estaban por llegar. En el siglo XIX se destruyeron sus fortificaciones, la torre de su parte central y el por-



tal que da acceso al pueblo. El motivo: permitir el paso de la maquinaria pesada destinada a la industria local.

En 1917 sufrió una importante reconstrucción según el proyecto del arquitecto José Danés i Torras, que realizó un trabajo impecable, con planos de gran precisión, gracias a los cuales fueron posibles los estudios para futuras consolidaciones y reconstrucciones. La última de ellas tuvo lugar tras las voladuras de la Gue-

En 1917, el arquitecto Danés i Torras realizó un minucioso trabajo de reconstrucción



La cimentación en las rocas del lecho del río determinó su curioso alineamiento irregular.

rra Civil. Fue realizada por el arquitecto Pons y Sorolla en 1965 y a ella se debe su aspecto actual.

► **FUNCIÓN DEFENSIVA**

El acceso a la ciudad desde el puente está protegido por dos torres que se unían a la muralla de la villa. Estas fortificaciones servían tanto para funciones defensivas como para el cobro del “peaje”.

La magnífica fábrica del puente consta de dos tramos en ángulo, con bóvedas desiguales y datadas en diferentes épocas. Las cuatro primeras son las más antiguas y cuentan además con bellos arquillos de aligeramiento. Algunos tajamares suben hasta la altura de coronación, sirviendo de “apartaderos” de la estrecha calzada del puente.

Precisamente la cuarta bóveda se apoya sobre una gruesa pila en la que se produce el quiebro en la planta del puente. Esta planta quebrada es otro elemento característico de la época medieval, que pocos puentes conservan por exigencias del tráfico rodado.

En el quiebro observamos un ensanchamiento en la rasante; es lo que se conoce como la *creu grossa*, en la que existió una garita para la guardia.

La torre fortificada que permitía el control de la travesía por el puente está situada en la quinta

pila, que también presenta una masa importante reforzada por tajamares.

Un ensanchamiento más pequeño lo encontramos en la pila que separa las bóvedas sexta y séptima, conocido como la *creu petita*. Su bóveda principal, de 22 metros de luz, se resuelve en pleno medieval en arco de medio punto.

El puente fue declarado Monumento Nacional en 1954. Tras la última reconstrucción importante, la del año 1965, sigue luciendo una imagen muy cuidada, gracias, entre otras cosas, a que su uso está reservado exclusivamente para el paso de peatones. ■

PUENTE VIEJO DE BESALÚ

Situación: A la entrada de la población de Besalú (Girona), sobre el río Fluviá

Año de construcción: S.XII (primeros testimonios en torno a 1075)

Longitud: 135 m.

Anchura de tablero: 4 m.

Altura de rasante: 15 m.



Piedras labradas

M^a DEL MAR MERINO | FOTOS: A. R.

Situado a 12 kilómetros de Oropesa (Toledo), este puente, que salva el Tajo en la parte más occidental de las tierras toledanas, es un magnífico ejemplo de construcción medieval, teniendo especial interés, además, por haber dado origen a la villa donde se emplaza y por ser paso importante de la trashumancia y de las peregrinaciones al santuario de Guadalupe.

La sillería granítica, sólida y firme, se levanta sobre las rocas vivas del cauce.



El artífice de este puente fue Don Pedro Tenorio, llamado el “arzobispo constructor”, pues ha pasado a la historia como uno de los más fecundos promotores de obras públicas de nuestro país. A él se debieron, entre otras, obras tan importantes como la reconstrucción del puente de San Martín en Toledo, la iglesia-colegiata de Talavera o la reconstrucción del puente de Zulema en Alcalá de Henares.

Entre los motivos principales para la construcción de esta obra se hallaba el de facilitar la ruta de peregrinación al monasterio de Guadalupe y permitir la comunicación del mismo con la sede episcopal, en Toledo. Guadalupe constituyó durante siglos un centro de atracción religiosa comparable en muchos aspectos a Santiago de Compostela, Roma o Jerusalén.

Otro motivo fue el económico, pues el puente del Arzobispo formó parte importante en la red de caminos de la Mesta, siendo paso obligado para el ganado trashumante en su camino hacia los pastos extremeños. Todas estas razones debieron influir en la decisión del obispo Tenorio de levantar un puente de fábrica sobre el Tajo que permitiera franquear el río en cualquier época del año.

► LA VILLA DEL PUENTE

El puente comenzó a construirse en 1383, concluyendo las obras cinco años más tarde, en 1388, según la inscripción grabada en la puerta de uno de los torreones que defendían el puente. Dada la envergadura del proyecto, Don Pedro Tenorio tuvo que contar con el trabajo de todos los maestros canteros disponibles, como consta en una carta escrita por uno de sus colaboradores: “...el arzobispo mandó que todos los pedreros labren en la su puente.... e asy sabed que de aquí non podedes aver pedrero nenguno, que sy mas oviese, mas serían menester para estas obras que el dicho señor tiene comenzadas...”.

Antes de comenzar los trabajos, el arzobispo mandó levantar una casa-palacio para vigilar la construcción del puente a pie de obra. Un gran número de trabajadores, peones, caleros, albañiles, acemileros, etc... formaron en las inmediaciones un barrio de chozas al que llamaron Toledillo, por proceder en su mayoría de Toledo. Finalizado el puente, el arzobispo rogó a muchos de sus habitantes que permanecieran viviendo allí, para lo cual solicitó del rey alguna medida en apoyo de

dicha población, pues era importante para asegurar el tránsito por los caminos a los que servía el puente. El rey Juan I, muy satisfecho por la obra pública, no sólo accedió sino que otorgó toda clase de franquicias a los que viniesen a poblar el lugar. Y así nació la villa de Puente del Arzobispo, que, como cuentan las crónicas, fue “franco e quieto de todos los pechos e servicios y moradas e alcabalas e galeotes e lenceros e ballesteros e pedreros e guías e otro cualquier pecho de tributo e derramas e tasas.”

► **EL PUENTE-FORTALEZA**

Es una obra engastada sobre las rocas vivas del Tajo, labrada en buena sillería granítica, sólida y fuerte. Presenta once bóvedas de cañón de luces variables. Cuenta con la singularidad constructiva de que la embocadura está ligeramente rehundida, produciendo un remedo de arquivolta. Razones defensivas impusieron la técnica constructiva, propia de esta época, basada en la construcción de arcos autoestables, con pilas que a la vez eran estribos. Tampoco se construyeron más de dos arcos al mismo tiempo.

Algunas fuentes señalan que el puente contaba con cuatro torres, dos en el centro y otras dos en los extremos, pero parece ser que estas últimas nunca existieron. Las dos torres centrales, construidas en sólida sillería, confirman su carácter de baluarte militar. Estaban coronadas de almenas y provistas de salientes barbacanas, siendo utilizadas como prisión. Lamentablemente fueron desmochadas al construirse la carretera Oropesa-Guadalupe, hacia 1865.

El puente se hallaba perforado de galerías bajo el tablero y en el interior de las pilas, que desembocaban en portones al nivel del agua; una escalera interior, que aún se conserva, permitía bajar hasta el río para proveerse de agua.



Paso obligado de la trashumancia y las peregrinaciones a Guadalupe, fue también concebido como sólido baluarte defensivo



A la izquierda, vista del puente con la población al fondo. Junto a estas líneas, uno de los pilares con las escaleras para el aprovisionamiento del agua.



PUENTE DEL ARZOBISPO

Situación: En Puente del Arzobispo (Toledo), sobre el Tajo
Año de construcción: 1383-1388.
Longitud: 225 m.
Altura de rasante: 13,5 m en su punto máximo

Originariamente el puente contaba con ocho arcos, pero en 1770, para aminorar los efectos de las grandes crecidas del Tajo, se prolongó a expensas de los vecinos, levantándose tres bóvedas más, que no parecen guardar ninguna ley de progresión o simetría.

► **PERFECTO ESTADO**

Aunque con restauraciones evidentes, el puente se encuentra hoy en perfecto estado. Cimentado en el lecho granítico del río, los sillares son de labra fina, uniformes y bien escuadrados. La rasante o perfil de coronación es en lomo de asno, debido probablemente a la diversidad de dimensiones de los arcos de medio punto, propia de estas antiguas obras. La cota máxima coincide con el arco de mayor luz, situado entre las dos torres, por debajo del cual discurre la mayor parte del caudal.

Las pilas son extraordinariamente sólidas y gruesas, aproximadamente de un tercio de la luz de los arcos. Éstos arrancan desde la altura del cimienta, próximos al plano de aguas medias.

Los tajamares son típicamente medievales, de planta triangular apuntada. Está decorado por gárgolas de piedra que representan cabezas de animales, aunque antaño también lo adornaban los escudos del obispo constructor.

Los tajamares son típicamente medievales, de planta triangular apuntada. Está decorado por gárgolas de piedra que representan cabezas de animales, aunque antaño también lo adornaban los escudos del obispo constructor.

El puente del Arzobispo tuvo gran relevancia durante siglos. Fue escenario de bodas reales y sobre él se libraron numerosas batallas. Pero, por encima de todo, sirvió durante muchos años para facilitar la vida pacífica de las gentes, el paso de peregrinos, comerciantes y rebaños, cumpliendo el objetivo de su fundador, el arzobispo Tenorio, cuando decidió su construcción hace más de seiscientos años. ■



De cuño imperial

MARÍA DEL CARMEN HEREDIA CAMPOS | FOTOS: CABALLERO

El puente de Almaraz tiene una bella historia y no sólo por el atrevimiento de su maestro constructor, Pedro de Uría, de levantar un puente con sólo dos arcos para salvar un amplio vano, cuando todos los de su época se hacían con más arcos, sino por su insistencia en sobrevivir a través de los siglos y frente a toda suerte de agresiones.

de Alemania y en la otra las de la ciudad de Plasencia: debaxo las del Emperador se lee: Esta puente hizo la ciudad de Plasencia año de 15... reynando en España la Magestad Cesarea de Carlos V. Emperador. Fue Maestro Pedro de Uría.”

Así describe Antonio Ponz, viajero del siglo XVIII por tierras españolas, el magnífico puente renacentista de Almaraz, en Cáceres. No escribió los dos últimos números del año de construcción porque estaban gastados en la inscripción, aunque a él le pareció que la fecha podía ser el año 52. Intacto se mantuvo el puente hasta el siglo XIX, momento en el que se le tuvo que practicar una importante reconstrucción tras sufrir algunas vicisitudes guerreras.

Fue un puente colosal para su época, y su edificación estuvo motivada por hallarse en un punto estratégico en el camino principal de Toledo a Andalucía (desde época musulmana hasta el siglo XVIII), que formaba parte del camino real de Extremadura y, atravesando los ríos Guadarrama, Alberche, Tajo, Guadiana y Guadalquivir, alcanzaba Córdoba. Ya recorrieron este camino Tarik y Muza con sus ejércitos musulmanes entre 712 y 713, y más tarde los Reyes Católicos.

En tiempos de Carlos I, Almaraz seguía siendo punto neurálgico en el camino más usado para Andalucía así como paso obligado en la ruta Madrid-Lisboa. El cruce del Tajo se realizaba mediante las “barcas de Albalat”, situadas en un vado de la orilla izquierda del río, en las tierras de la antigua Medina al-Belat, donde hubo una importante fortaleza de origen musulmán, localizada entre Almaraz e Higuera. Por este sistema debió cruzar el Tajo el Emperador cuando en 1526 viajó de Toledo a Sevilla, pasando por Almaraz, para ir a encontrarse con Isabel de Portugal y ratificar su matrimonio.

► LAS NUEVAS OBRAS PÚBLICAS

Dentro de la nueva política de obras públicas que se inicia tras los primeros viajes de Carlos I por España cobra relevancia la construcción de puentes. Por esta razón, en 1533 Plasencia recibe la orden de Carlos I de construir un puente sobre el Tajo. El lugar elegido fue una angostura en el río, en las tierras de al-Belat, perteneciente por entonces a la jurisdicción de la Campana de Albalat que agrupaba varios lugares.

Su constructor, en la época en que ya empezaban a individualizarse las obras de ingeniería y a

Caminando a mediodía, se encuentra el célebre puente de Almaraz sobre el Tajo: fui a verle, y digo sin rezelo, que es comparable a las fábricas más magníficas en esta línea, sin excluir las mayores que hicieron los Romanos... En una parte se ven puestas las armas de Carlos I de España y V



deshacerse sus autores del anonimato impuesto por el sistema de gremios, fue el maestro Pedro de Uría, quedando su nombre inscrito para la posteridad bajo las armas del emperador, en un lado de la glorieta central que coronaba el puente. En el otro lado de la glorieta se grabaron las armas de Plasencia. En el hermoso pilar central se talló un impresionante escudo, que aún se mantiene ileso, con las armas de Carlos I sobre el águila imperial bicéfalas y la corona imperial. Los escudos y la inscripción de la glorieta han desaparecido, aunque bajo el escudo externo de Carlos I se puede contemplar el escudo de Plasencia.

El proceso de construcción del puente fue largo y laborioso y siempre supeditado a la afluencia de dinero, teniendo en cuenta que era una obra muy costosa y que se sufragaba mediante “repartimientos” de los gastos entre los pueblos que luego se iban a beneficiar de ella y, excepcionalmente, con donaciones de preladados o señores. Se ha conservado un libro de cuentas del siglo XVI, dado a conocer, en parte, por la condesa de Quintanilla en 1958, donde se recogen las vicisitudes económicas de la construcción del puente desde 1533 a 1537. Por este documento se sabe cómo el dinero se recaudó por orden del Rey entre 49 pueblos vecinos de las tierras de Plasencia -entre ellos la Campana de Albalat-, contribuyendo todos ellos de forma proporcional al número de sus habitan-

tes. En 1537 sólo se habían levantado los pilares, y los responsables de las obras estaban llenos de dudas de cómo continuarlas. Finalmente, en 1539, el emperador apremiaría a don Francisco de Monroy, señor de Belvís, para que dejase de poner impedimentos a la extracción de piedra de las canteras de sus tierras y que se terminase el puente “por ser el dicho edificio en provecho universal de toda la comarca y desas dichas villas”. A partir de ese momento no se cuenta con documentación sobre su construcción, salvo la fecha de terminación indicada por Ponz en su libro *Viaje de España*. No citan los documentos los nombres de los primeros maestros constructores, lo que hace pensar en la incorporación de Uría, “bastante desconocido” según Madoz, para la construcción de los arcos.

► **DETALLES DE EXCEPCIÓN**

El puente, todo él de sillería aunque relleno de pizarra y mampostería, fue excepcional por su altura y por salvar el vano con tan sólo dos arcos, algo poco común para la época. Ponz describió los arcos como góticos, aunque, en realidad, uno era algo ojival y el otro de medio punto y achaflanado por

El grueso pilar central permite salvar el cauce con solo dos arcos. A la derecha se aprecia el escudo de armas de Carlos V.



el lado de la margen del río, irregularidad que se pudo deber a que cediera en el momento de su descimbramiento. Los arcos están separados por un impresionante pilar central cilíndrico de planta hexagonal, de 17,5 metros de grueso, con dos tajamares triangulares en sentido de la corriente y contracorriente, que se asienta sobre un fuerte peñasco del lecho del río. Ambos arcos se apoyan en las márgenes mediante pilares laterales asentados sobre rocas. La longitud total del puente que dio Ponz era de 162 metros, el ancho 7 m. y la altura desde el talweg a los pretiles de 37,52 m.

Las cimbras, o moldes de madera sobre los que se construyeron los arcos para luego quitarlos una vez puesta la clave debían tener muy preocupado a Pedro de Uría en cuanto a su consistencia para soportar el peso de los arcos diseñados, porque decidió dotarlos de tres órdenes de dovelas a cada uno de ellos. Las medidas de los arcos originales (medidos en “pies” castellanos y convertidos aquí en metros, a 28 cm. por pie), según Ponz y un informe que presenta Francisco Javier Barza a la Dirección General de Caminos en 1826, dan al arco

de medio punto, que daba paso normalmente a todo el agua al estar más bajo el lecho del río, 42 metros de luz y 19,32 de sagita o altura desde los apoyos hasta la clave. Las dovelas de este arco tenían 90 cm. de alto y sus dos órdenes lo recorrían emparejadas y coronadas por otro orden superior que formaba un arco escarzano, o rebajado, con los estribos en la pila central y en la cepa de la izquierda del río. El arco menor, algo apuntado y por donde sólo pasaba el agua en las grandes avenidas por tener menos fondo que el otro arco, lo describen con 33,32 m. de luz, 18,5 de altura y tres órdenes de dovelas superpuestas.

Para percatarse de la excepcionalidad de los arcos, basta pensar que, por el mismo tiempo, los famosos puentes italianos de Rialto, sobre el Gran Canal de Venecia, y el de la Trinitá sobre el Arno, en Florencia, se construyeron con 27 y 29 m. de luz, respectivamente.

Otra peculiaridad del puente es que, curiosamente, según se puede comprobar en el plano de Sánchez Taramas de 1769, no es un puente rectilíneo sino que sus arcos y tablero forman un ángulo obtuso suave con el vértice contracorriente. Esta irregularidad, así como el que los arcos no sean iguales sin razón aparente, se podría deber, en el caso de su alineación, a la fundamentación del pilar central sobre una peña del fondo del río que no estuviese en línea con las rocas de los montes laterales elegidas para apoyar los arcos. Las pilas por entonces se construían muy fuertes para que soportaran los empujes horizontales de las bóvedas hacia ellas durante su construcción. Es posible que los casi 20 años que duraron las obras y el aperturismo español de la época a nuevas ideas artísticas transfronterizas –en este caso de vuelta a las formas clásicas romanas que luego se llamarían renacentistas– se conjugaran, dando como resultado un puente con un arco aún de reminiscencias góticas junto a otro que incorporaba el nuevo estilo procedente de Italia.

► **DESTRUIDO Y RECONSTRUIDO**

Esta poderosa obra fue semi-destruida en el siglo XIX. A finales de 1808, durante la guerra de la Independencia, los franceses se acercaban a Almaraz intentando alcanzar Portugal tras cruzar el Tajo. La Junta de Defensa de Extremadura encareció al general Ga-

Carlos V apremió la construcción de este puente, paso estratégico en las rutas hacia Andalucía y Portugal

lluzo, que dirigía las operaciones defensivas y que ya había volado los puentes del Conde y del Cardenal, anterior y posterior al de Almaraz, que no volase éste si no era muy preciso; no obstante, él trató de volarlo “con 17 varrenos u hornillos”, sin lograrlo debido a su solidez. En febrero de 1809, con los franceses hostigando, Juan de Henestrosa, jefe de la vanguardia a las órdenes del general Cuesta, intentó hacerle una cortadura al arco de medio punto para impedir el paso, pero las prisas y el empleo de pico y barreno afectaron a la clave provocando su caída inesperada y la muerte de una treintena de hombres entre los que trabajaban encima del puente, el oficial que los dirigía y otros que estaban en las orillas, y al subir el nivel del agua fueron arrastrados por ella. El arco lo terminó de destruir en 1813 un ingeniero inglés para colocar un puente de cables de navío para el paso de tropas del ejército de Andalucía. Finalmente, se volvía al engorroso sistema de la barca tirada por una maroma.

Tras treinta años de problemas de comunicación con Extremadura y Portugal para viajeros, comerciantes y cabañas trashumantes y de diversos proyectos de restauración presentados por ingenieros de la Administración que no fueron llevados a la práctica por su elevado coste y complicación, en 1841 se adjudicó por subasta la reparación del arco a dos diputados extremeños, don Joaquín Rodríguez Leal y don Gonzalo de Ulloa, que, buscando un famoso arquitecto extranjero, fueron a dar con el desconocido español Manuel Ibáñez, lego exclaustro a causa de la expulsión de los jesuitas. En 1842 se constituyó la Compañía de Restauración del Arco Arruinado del Puente de Almaraz, por acciones, que comenzó a trabajar con un capital de un millón de reales de vellón para materiales, sueldos y jornales a cuenta del presupuesto aprobado por la Administración.

En traer la madera para la cimbra del arco, de los pinares de Cuenca por el Tajo, tardaron 16 meses y en montarla casi dos años. Finalmente, el maestro Ibáñez reconstruyó magistralmente el arco poniendo la clave de la bóveda en octubre de 1845. El arco quedó casi igual al derribado aunque perfectamente simétrico y con un solo orden externo de dovelas.



Al puente de Almaraz se llega por la antigua carretera N-V y en el kilómetro 200, tras una curva, aparece magnífico y desafiante, conservando prácticamente igual su aspecto original y constituyendo un referente histórico de los puentes renacentistas españoles. Por la subida del nivel del agua por los pantanos próximos no es posible ver en toda su perspectiva la obra de Pedro de Uría; sin embargo, su magnitud no deja de provocar un silencio de admiración en el viajero cuando se encuentra con ella. Su estructura ha soportado el tráfico principal hasta los años noventa del siglo pasado, e incluso el paso de pesadas piezas para la central nuclear de Almaraz, desviándose éste luego hacia otro esbelto puente de hormigón pretensado construido en el tramo Almaraz-Jaraicejo con 175 m. de vano. ■

Durante la Guerra de Independencia el puente fue objeto de varios sabotajes, siendo fielmente reconstruido en 1845 .

PUENTE DE ALMARAZ

Situación: En el km. 200 de la antigua N-V, cerca de Almaraz (Cáceres)

Año de construcción: 1533-1537

Longitud: 160 m.

Anchura de tablero: 6,8 m.

Altura de rasante: 38,9 m.



De traza renacentista

MARÍA DEL CARMEN HEREDIA CAMPOS | FOTOS: CABALLERO

En la política de estructuración del territorio y de establecimiento de nuevas vías de comunicación, característica del siglo XVI en los reinos españoles, en las tierras del sur destaca el puente de piedra que de su propio peculio construyó un noble burgalés llegado a tierras de Benamejí (Córdoba) en 1549. La obra de ingeniería contó con el más reconocido arquitecto andaluz de la época, que la realizó de acuerdo a los más modernos cánones de composición, geometría, proporciones y sencillez ornamental propios de las nuevas tendencias artísticas provenientes de Italia.

El puente de Benamejí está íntegramente construido con sillares de cantería de piedra de arenisca.

Cuando Diego de Bernuy Orense, noble y regidor perpetuo de Burgos e importante comerciante del puerto de Bilbao, compra la fortaleza y tierras de realengo de Benamejí a Carlos I en 1549, por veinte millones de reales, para crear un señorío solariego, se encuentra con unas tierras cuyos últimos pobladores, los caballeros de la Orden de Santiago, habían dejado al marcharse la fortaleza de Gómez Arias semidestruida, hornos, mesones e, incluso, una ermita, pero sin pobladores, sin casas, sin campos labrados y con el río Genil que atravesaba las tierras de este a oeste sin puente para cruzarlo. Es más, el pontón de madera que había sobre el Genil, llamado el “pontón del Maestre”, que era vía comercial entre Castilla y el reino de Granada, lo había quemado a propósito el alcaide de Benamejí para que los comerciantes y viajeros pasasen por el “pontón de don Gonzalo”, en la villa de Aguilar, donde el pago de sus portazgos beneficiaba más a la orden.

Las tierras de la musulmana Banu Bashir, nombre de su fortaleza que dará lugar a Benamexí, se localizaban en pleno camino real de Córdoba a Málaga y constituían un cruce de caminos, intereses económicos e influencias culturales desde que ha-

bían pertenecido a la “cora de Rayya” (Málaga) en época musulmana. Por ellas circulaban en el siglo XVI los viajeros “para las armadas y provisiones que se hacen a la ciudad de Málaga”, es decir, personas, materiales, alimentos y municiones para la guarda de la costa malagueña atacada por las incursiones berberiscas desde que fueron expulsados los últimos nazaríes. Por otra parte, a Antequera, villa importante de Málaga y muy próxima a Benamejí, llegaban las mulas con sardinas y pescados para su distribución por las tierras colindantes. En la medida en que los caminos y puentes fuesen mejores o peores, los precios del transporte subían o bajaban. Por ello, con un buen puente situado en lugar estratégico el dueño se aseguraba el paso de mercancías por sus tierras y el pago de pontazgos.

Bernuy, hombre muy bien relacionado y rico, empieza a organizar rápidamente su señorío y a atraer pobladores ofreciéndoles tierras para labrar y “solares de humazgo” para construir sus casas. Enseñada otorga y pregona una carta-puebla con todas las disposiciones para construir el pueblo y sus relaciones con sus nuevos vasallos solariegos. Entre las obras que se compromete a realizar se encuentra un puente sobre el río Genil. Así, la villa de se-



El puente se sustenta sobre dos fuertes estribos apoyados en las laderas y dos pilas centrales que separan el arco central.

ñorío empieza su andadura contratando once casas, con vecinos llegados de las proximidades, que se convierten en pecheros que pagarán “censo”, tributo que obligaba a todos los habitantes, incluso a los eclesiásticos, salvo al alcalde mayor.

► **EL MEJOR ARQUITECTO ANDALUZ**

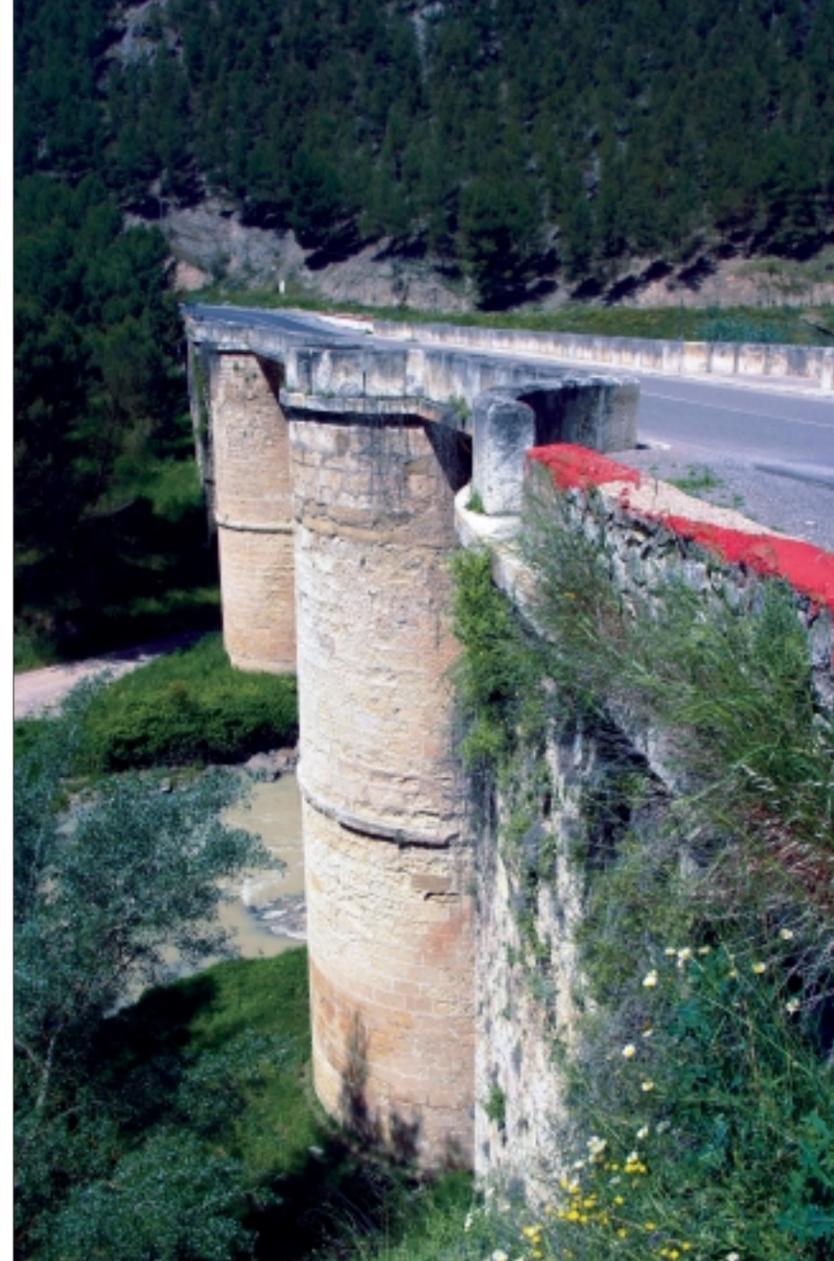
El siguiente paso era encontrar maestro para las obras. Diego de Bernuy llama a Hernán Ruiz “el Mozo”, el más famoso arquitecto andaluz, muy reconocido en el nuevo estilo constructivo basado en las antiguas formas romanas, es decir, el llamado posteriormente Renacimiento. Autor de la reconstrucción del crucero de la catedral de Córdoba y maestro mayor de la de Sevilla, se distinguió también en obras civiles. Su intervención en la reconstrucción de los pilares del puente de Córdoba le avalaba para los proyectos constructivos de Bernuy. Éste le encarga el trazado de la ciudad, que realiza con los nuevos cánones de calles horizontales y perpendiculares, en boga para las ciudades de nueva construcción, y una plaza en el centro donde se edificarán a partir de 1553 los edificios públicos, la iglesia y el palacio del primer señor de Benamejí, de gran sencillez por fuera y el más

delicado estilo renacentista por dentro (por cierto, demolido en 1973 por orden del entonces alcalde).

Para salvar el Genil, Diego de Bernuy le encarga, costado por él mismo, la construcción de un puente fuera de la villa, en el camino hacia Antequera. Era una época en la que en España se seguían usando los puentes romanos y se habían construido algunos medievales, pero se iniciaba una nueva etapa de reconstrucción de vías públicas. No era habitual que el Tesoro costeara las obras públicas; por tanto, los puentes nuevos que se iban repartiendo por todo el territorio eran costeados por los pueblos, los señores o los preladados, siendo Andalucía, por su posición estratégica, uno de los focos más importantes en la construcción de nuevos puentes, para lo que se llamó a los mejores maestros.

El puente siguió los cánones de composición, geometría, proporciones y austeridad propios del Renacimiento

Hernán Ruiz seguramente tenía las referencias de los puentes renacentistas que se iban construyendo al ser un hombre ya mayor, de unos 50 años, y muy instruido e informado en las últimas tendencias arquitectónicas. Ya estaba terminándose el puente de Almaraz, en Cáceres, al que se parecerá mucho el de Benamejí, y también desde primeros de siglo ya



existían en Jaén puentes tan importantes como los del Obispo, de Mazuecos o de Marmolejo, todos de traza renacentista. Dirige las obras ininterrumpidamente desde 1550 a 1556, año en que se terminan, cuando ya el pueblo cuenta con 92 casas, que sigue creciendo hasta alcanzar a finales de siglo los 250 vecinos, no sin pasar crisis de epidemias y de abandono de algunos pobladores. Una vez construido el puente, los gastos de mantenimiento y reparación correrían a cargo de los vecinos, aunque no tendrían que entregar por su uso ninguna cantidad al señor de la villa de Benamejí.

► **EL PUENTE SOBRE EL RÍO GENIL**

El puente de Benamejí es uno de los más importantes de Córdoba por sus dimensiones y perfección. Está a unos 2 kilómetros del cerro donde se edificó el pueblo y encajado entre los costados

de dos montañas horadadas por el paso secular de Genil. Es un puente construido todo él con sillares de cantería de piedra de arenisca, fácil de labrar, que se trajo de La Cantera, un cerro próximo, aunque en la base se utilizó otra piedra caliza más dura y más apropiada para resistir al agua.

Consta el puente de dos fuertes estribos apoyados en las laderas rocosas de izquierda y derecha del cauce y dos pilas centrales que separan el arco central, por donde discurre el cauce del irregular río, de los dos arcos laterales de medio punto. Los arcos se construyeron mediante cimbras, o armazones de madera que se desmontaban una vez colocada la clave del arco, y sus anclajes dejaban unos huecos, o mechinales, en el arranque de los arcos que muy bien podrían ser los huecos rectangulares que hoy se observan en ellos, aunque son de un tamaño poco habitual por sus grandes dimensiones. Las pilas que separan los arcos son de planta rectangular con tajamares semicilíndricos, a ambos lados de la corriente, de 8,4 metros de grueso, que suben hasta el tablero y están cortados a media altura por una moldura decorativa horizontal que coincide con los arranques de los arcos laterales. El puente se construyó con una longitud total de 132,4 metros y una anchura entre pretiles de 5,70 metros y 21,15 metros de altura total desde su fundamento hasta el tablero. Sobre éste, coincidiendo con el remate de las pilas, se forman dos parejas de balconcillos a ambos lados de la corriente cuyo fin era la protección y descanso del viajero durante el paso de carros y animales.

El arco central de medio punto tiene 31 metros de luz y 15 de alto y su bóveda arranca poco más arriba de las aguas bajas. Los dos arcos laterales, también de medio punto, tienen 8,6 metros de luz y el arranque de sus bóvedas se inicia más alto que el del arco central. Los estribos son desiguales y se apoyan el de la margen derecha, de gran longitud, embebido en roca de yeso, y el de la izquierda, más corto, en roca caliza.

Es de destacar, respecto a sus medidas, que este puente se adapta perfectamente a los cánones de los puentes renacentistas que vuelven a los modelos clásicos, en este caso a los romanos, aunque está en los límites de las medidas establecidas. Es decir, la esbeltez del arco debía ser de 1/10 de la luz hasta 1/15, excepcionalmente, y la de las pilas debía estar entre 1/4 y 1/6 de la luz. La esbeltez del arco principal es 1/15 de su luz y la de las pilas es de 1/3 de la suya. En el caso de su contemporáneo el puente de Almaraz, el arco menor, que



es el original, de 33 metros de luz, tiene una esbeltez de 1/15 y su pila central tiene 1/2,4. Estas medidas no eran fáciles de conseguir porque los puentes de esta época se tenían que adaptar, en general, a la configuración del terreno y apoyaban sus pilas en la base natural de mayor consistencia que éste ofrecía.

► **EL ESCUDO DE LA FAMILIA BERNUY**

La decoración del puente es austera, como corresponde al estilo renacentista, y consta tan sólo de una rosca ligeramente hundida que recorre las dovelas de los tres arcos presentando en los arranques de éstos, sólo en el intradós, una moldura de resalte. En el arco central, en ambas caras de la clave, se esculpieron sendos escudos del primer señor de Benamejí, muy similares al que hay en la puerta del Hospital de la Concepción de Burgos. Es un escudo terciado a la valona, es decir, colocado inclinado, y tiene un yelmo cimado por un águila. Tiene dos cuarteles en los que figuran dos barcos con un único remo sobre ondas de azur con bordura con seis veneras de plata, en el izquierdo, y una flor de lis sobre una mota y un león con me-

dia bordura componada, en el derecho, armas de su padre y de su madre, respectivamente. Los escudos terciados a la valona no eran comunes en los escudos castellanos sino más bien francesas o aragonesas, pero se trataba de un noble que en todas sus actuaciones mostraba una apertura a aires y experiencias nuevas.

Bajo uno de los escudos había una inscripción que, según el diccionario de Madoz (s. XIX), rezaba: “Diego de Bernuy regidor de Burgos pobló a Benamejí y edificó este puente a su costa. Año 1556”. Hoy día ha desaparecido. Los dos escudos de la clave se conservan aunque están muy deteriorados por la erosión.

El puente costó 27.000 ducados, equivalentes a 10.125.000 maravedíes (1 ducado era equivalente a 375 mrs. y 3,7 kg. de oro), que podría ser la renta de un año de un arzobispado muy rico, tal vez el de Sevilla, y si se tiene en cuenta que todas las tierras con su fortaleza e instalaciones se las había comprado Bernuy a Carlos I por 19.965.000 mrs., se puede tener una idea bastante aproximada de lo elevado de la cifra de su construcción.



Por sus medidas, el puente de Benamejí se adapta perfectamente a los cánones renacentistas.

El puente de Benamejí no ha tenido roturas a través de los tiempos pero sí varias modificaciones. Desde mediados del siglo XIX los planes de carreteras costeados por el Estado, que tomaban a su cargo las vías más importantes, obligaban a que éstas tuviesen unas medidas definidas respecto a anchura, pendiente y apertura de curvas. Por ello, el puente, que se encontraba en plena nueva carretera Madrid-Málaga a su paso por Córdoba tras una cerrada curva, se tuvo que adaptar necesariamente y se le hicieron algunas modificaciones. La *Revista de obras públicas*, en un número del año 1879, las describe como consistentes en “elevar su fábrica entre los estribos al nivel del arco central y los extremos de los muros de sostenimiento hasta las rasantes de las bajadas del puente, porque la estrechez del terreno no permitía darle el desarrollo necesario”. Siendo los arcos laterales más bajos que el central, parece

indicar que el puente tenía originalmente una cierta curvatura (“lomo de asno”) que fue rectificada por el enrase que indica, que se continuó luego por los muros de sostenimiento para enlazar con el terreno circundante.

En el año 1940 se redacta el Plan

General de Obras Públicas, el llamado “Plan Peña”, entre cuyos objetivos figuraba la reparación de puentes y firmes que habían resultado deteriorados durante la Guerra Civil. Las carreteras que comunicaban las capitales españolas pasaron a ser “camino nacional” en las que el firme tenía que tener 9 metros de ancho, una pendiente máxima del 7% y un mínimo de 100 metros de radio en las curvas. Para ampliar la anchura del puente de Benamejí se construyeron unos andenes en voladizo, entre las pilas y los estribos, que se apoyaron sobre una densa línea de ménsulas formadas por 31 canes de hormigón armado sobre el arco mayor y 9 sobre cada uno de los laterales que fueron pintados del color de la piedra del puente. Con este sistema el puente mejoró el pavimento y aumentó su anchura hasta 7 metros, al tiempo que recibía andenes para los viajeros de a pie, aunque elevaba ligeramente la cota de dicho pavimento. Para desagüe del tablero se practicaron dos grandes huecos en cada línea de pretilles consistentes –curiosamente– en eliminar un bloque del pretil, dejando huecos que dan al río sin protección para el visitante.

► **RECONOCIDO COMO MONUMENTO**

En el año 2001 el puente de Benamejí fue declarado Bien de Interés Cultural, con la categoría de Monumento, por Decreto 215 de 18 de septiembre, pero no se consideraron partes integrantes del mismo aquellos elementos añadidos a raíz del ensanche de la calzada en 1940, es decir, los voladizos y los canes.

Hoy día, para descargarlo de tráfico rodado, coincidiendo con un nuevo arreglo de la carretera Málaga-Córdoba se ha construido un difícil –por las características de asentamiento del terreno–, largo y ligero puente nuevo de hormigón que se divisa desde Benamejí tras el antiguo puente de piedra en dirección al sur. Su planta tiene tramos rectos y tramos curvos con un tablero de acero estructural sobre pilas de forma tronco piramidal con las aristas redondeadas de 66 y 60 metros de altura. Su longitud es de 288 metros con tres vanos, uno central de 120 metros y dos laterales de 84 metros. El fuerte desnivel sobre el río Genil es de 78 metros.

Esta obra de arte y referente histórico de la construcción civil renacentista se puede visitar en la antigua carretera nacional de Córdoba a Málaga (N-331), a unos dos kilómetros de Benamejí, entre este pueblo y el Tejar. ■

PUENTE DE BENAMEJÍ

Situación: En el kilómetro 496,500 de la N-331, a dos kilómetros de Benamejí (Córdoba).

Años de construcción: 1550-1556

Tipología: Puente de fábrica de sillería ampliado con ménsulas de hormigón.

Longitud total: 132,4 m.

Luz principal: 31 m.

Autor: Hernán Ruiz

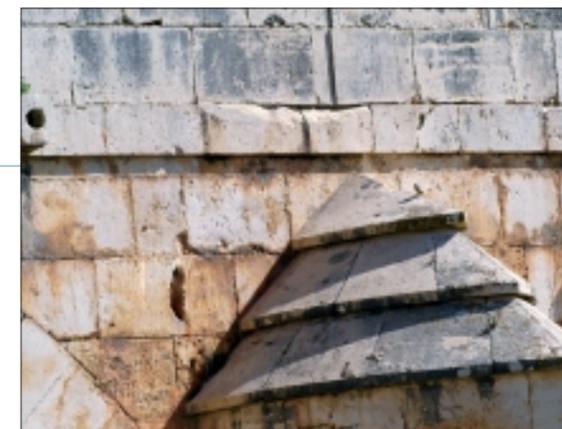


El rey de los puentes

ELOÍSA COLMENAR | Fotos: M. D. CORDERO

El Puente Largo, “el rey de los puentes”, como lo llamaba Carlos III, es una de las obras monumentales del Real Sitio de Aranjuez. Iniciado en 1757 por deseo de Fernando VI, con el fin de permitir un acceso estable a las reales posesiones desde la Corte madrileña y de adecuar este accidentado recorrido, su construcción finalizó bajo el mandato de Carlos III.

El Puente Largo, dotado de 25 bóvedas de cañón, salva el Jarama en las proximidades de Aranjuez.



Esta obra de ingeniería civil tenía como fin salvar el obstáculo que representaba el río Jarama en las comunicaciones desde Madrid a Andalucía, dentro del esquema radial de carreteras diseñado por la monarquía borbónica, y que bajo Fernando VI supuso mejoras en las principales vías y en los accesos a los Reales Sitios. Hasta entonces, el río se había cruzado por este punto por un puente de madera, arruinado por una avenida, y por otro posterior de barcas, que quedó inutilizado en 1749 por una gran corriente que dejó aislado al Real Sitio, provocando un enorme trastorno al comercio y a las obras del nuevo palacio y conjunto urbano.

Un inventario de enero de 1757 menciona por primera vez la próxima construcción “de un nuevo camino en Aranjuez y de un nuevo puente de piedra sobre el Jarama en virtud de la resolución del rey” (Fernando VI), quien ordenó levantar esta gran obra pública para evitar el aislamiento de la ciudad. También se menciona en ese escrito que el arquitecto de la obra sería Marcos de Vierna, encargado de la carretera de Andalucía.

► COMPLICADA CIMENTACIÓN

El lugar elegido para su emplazamiento fue la carretera que conducía a la Corte madrileña, a cinco kilómetros del Real Sitio, en uno de los arenales del Jarama donde era difícil encontrar el piso firme para poder sentar el cimiento. Dados los repetidos fracasos, hay que presuponer la preocupación que el arquitecto tendría en asegurar los cimientos de las pilas. La primera opinión conocida sobre este asunto fue la del arquitecto Santiago Bonavía, director principal de las obras del Real Sitio. Este célebre técnico dejó escrito que los sondeos habían encontrado una capa de arena a 7 pies de profundidad, a partir de la cual el terreno era firme, “sin elementos que dificulten la sujeción del puente en el basamento”. El terreno fue reconocido en julio de 1757 por Vierna en unión de Bonavía. Concluyó que la obra podía ejecutarse con firmeza y seguridad, una vez profundizado hasta llegar a la planta firme, “y que agarren aquí el pilotaje sobre el que se debe afianzar la obra”.

El sistema de cimentación elegido fue el entramiento de una verdadera maderada para poder levantar las pilas. Así lo describe Bonavía: “(...) el fondo del río Jarama está constituido por arena movedilla de 3 y 4 a 6 pies de alto, hasta encontrar arena firme, sobre cuyo fondo no se puede fiar sin



asegurar primero el fondo con pilotajes de robles o de encinas de 15 a 18 pies de largo, y de 3 en 3 pies de distancia y con un diámetro mayor de un pie, en los parajes donde correspondan los tajamares, cercando el pilotaje con diferentes hiladas de palancas de álamo negro de 12 a 15 pies de largo, más de 1 pie de ancho y 7 dedos de grueso, buenos y sanos sin defecto alguno en las maderas y puestos de canto, encrustadas unas contra otras, labrados de macho e imbra, entrándolas a fuerza de martinete". Alguien tan autorizado como Agustín de Betancourt criticaría años después esta cimentación por inadecuada.

Vierna había diseñado para esta magna construcción un puente de piedra de 340 metros de largo, 8,5 de ancho y 11 de alto, conformado por una sucesión de 25 bóvedas de cañón de 7,5 metros de luz. Éstas se apoyaban –de acuerdo con una planta simétrica longitudinalmente– sobre pilas de 4 m. de ancho dotadas de tajamares en la zona próxima a la margen derecha, apuntados y dispuestos escalonadamente en tres cuerpos, siendo el tercero un sombrerete gallonado. Para algunos estudiosos, las proporciones entre ancho de pilas y abertura de bóvedas son propias de los puentes romanos, lo que supone una postura del todo atrasada para el siglo XVIII.

El puente, que debía fabricarse íntegramente en piedra blanca de Colmenar de Oreja, tenía entradas espaciosas a uno y otro extremo, "y en los lados, banquetas o aceras de un pie de alto para que



la gente transite sin poder ser atropellada por los carruajes y caballerías", según escribió Pascual Madoz en su *Diccionario*, donde describe esta construcción. Los pretiles fueron adornados con leones y cartelas. Asimismo, en la entrada del lado de Aranjuez se dispuso una plaza nueva de cantería de planta oval, destinada a enlazar con el trazado viario del conjunto de los jardines y huertas de la

El puente, realizado íntegramente en piedra blanca de Colmenar de Oreja, es una obra de gran limpieza, solidez y serenidad.



se concedió al asentista Pablo de Salas la saca, desbaste y conducción de la piedra desde las canteras de Colmenar de Oreja. Asimismo, el alcalde de dicha localidad se comprometió a favorecer el trasego de materiales por su municipio. En la Escritura de Obligación y Fianza suscrita por Salas figura la memoria de las piezas de piedra utilizadas y sus dimensiones en pies. En total, sumaban 6.146 sillares, que debían encontrarse a pie de obra el 1 de febrero de 1758. Se nombró como aparejador mayor de la obra a Baltasar de la Secada, quien, en unión de un asistente y del contador, debían residir "en la casa de ventas o taberna que está junto al puente", mientras el arquitecto lo haría en Aranjuez.

Pero el suministro de la piedra empezó a presentar deficiencias y ante las reiteradas quejas de Vierna tuvo que intervenir Bonavía, consiguiendo ambos que se ordenase urgentemente a Salas la cesión de la contrata a terceros para que en conjunto pudieran satisfacer las condiciones de la escritura. Con esta decisión pasaron a compartir la responsabilidad los vecinos de Ontígola y Colmenar señores Pérez, Cazo y Encinas. Desde entonces no se produjeron nuevos incidentes y se concluyó la entrega en la fecha fijada de 1758.

Las tareas de labra y colocación de las primeras hiladas fueron muy duras y complejas. A ello se añadió la circunstancia de que, debido al encharcamiento, todos los trabaja-

vega del Real Sitio. Durante la construcción se acordó, de acuerdo con Bonavía, desviar el cauce y realizar una represa para evitar inundaciones.

► PROBLEMAS CON LA PIEDRA

La Real Orden de construcción del puente llegó el 14 de septiembre de 1757. En ella se indicaba que los trabajos correrían a cargo de la Real Hacienda y se autorizaba la subasta correspondiente. Quince días después se publicó el pliego de condiciones de la obra, en el que se especificaban las canteras y las características de las piedras, que "han de ser sillares, esquinas y dovelas hasta la imposta, a excepción de barandillas y remates, que no entran por ahora en el asiento".

Tras la concurrencia pública

El puente transmite una magnífica sensación de ritmo y de orden arquitectónico, componiendo un espléndido pórtico de acceso a Aranjuez

dores –incluido Vierna– contrajeron una enfermedad que soportaron hasta el invierno. Precisamente, el 4 de diciembre creció el río 15 pies, causando la ruina del puente auxiliar, aunque no se produjeron desperfectos en el nuevo.

Las obras concluyeron felizmente en 1781, ya durante el reinado de Carlos III, como recuerdan las tarjetas colocadas en las garras de dos leones de piedra que adornan los pretilos. El resultado final de tantos años de construcción es una arquitectura de gran limpieza, solidez y serenidad. En su conjunto, es un puente que, a falta de atrevimiento técnico, transmite una magnífica sensación de ritmo y de orden arquitectónico, componiendo un espléndido pórtico de acceso a la ciudad de Aranjuez.

► INTERVENCIONES POSTERIORES

No se tiene noticia de intervenciones importantes en el puente hasta el periodo comprendido entre 1895 y 1920, cuando se formularon varios informes, como el del ingeniero Vicente Machimbarrena, que dieron lugar, entre otras intervenciones, a la inyección a presión de una lechada de cemento en el cauce para afianzar la cimentación.

Durante la Guerra Civil fueron voladas las bóvedas 16ª a 19ª y las adyacentes también sufrieron graves daños. Aunque se restituyó el tráfico por medio de un puente provisional, nada más concluir la contienda bélica se decidió la reconstrucción de la obra, redactándose el correspondiente proyecto en mayo de 1939, de acuerdo con las soluciones propuestas por el ingeniero de la jefatura Enrique Martínez Tourné.

Poco después, entre 1944 y 1946, se procedió de nuevo al recalce y consolidación de cimientos. Después apenas ha sufrido intervenciones menores en la fábrica. Más recientemente ha sido liberado del tráfico de la A-4 al construirse la variante de Aranjuez, lo que sin duda alargará la vida de tan importante monumento.

El Puente Largo, una de las señas de identidad de Aranjuez, figura hoy en una ruta turística de los puentes, como reza en un cartel colocado al inicio del mismo, donde se describen sus principales características técnicas. El nombre de esta ruta, que recorre las vegas del Jarama y el Tajuña, se ha tomado de los dos puentes que se encuentran en el trazado y que constituyen un elemento arquitectónico digno de mención. ■



PUENTE LARGO DE ARANJUEZ

Situación: En el pk 41 de la antigua CN-IV, a 5 km de Aranjuez (Madrid)

Años de construcción: 1757-1781

Tipología: Puente de fábrica de sillería con 25 bóvedas de cañón

Longitud total: 340 m.

Luz libre: 7,5 m.

Anchura del tablero: 11 m.

Altura máxima de la rasante: 11,8 m.

Autor: Marcos de Vierna

El puente ha sido liberado del tráfico de la carretera nacional, lo que alargará su vida.

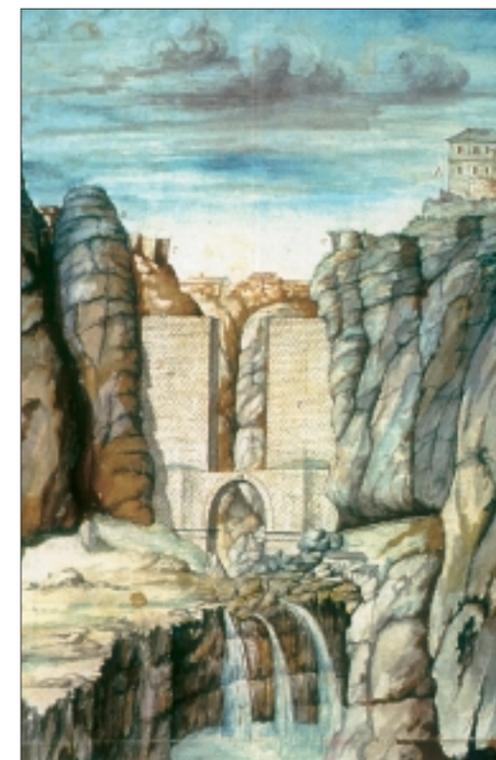
Un perfil universal



Izda., vista frontal del puente. Arriba, parte superior del tablero. Debajo, construcción del puente según un grabado de la época.

ELOÍSA COLMENAR | FOTOS: CABALLERO

Es un ejemplo sobresaliente de la simbiosis entre ingeniería y paisaje. Encajonado entre dos paredes verticales del impresionante tajo natural que parte la ciudad en dos, el Puente Nuevo es desde finales del XVIII la imagen más universal de Ronda. Su proceso de expansión urbana se debe en gran parte a esta obra maestra de la ingeniería española.



La localidad malagueña de Ronda ha estado siempre marcada por su difícil orografía, en especial por el Tajo del Guadalevín, una imponente garganta natural que parte la ciudad en dos mitades y que durante décadas impidió su expansión. Salvar este accidente natural había sido desde antiguo una obsesión y una necesidad para la ciudad andaluza, cuyos habitantes debían pasar al otro lado del tajo sobre dos viejos puentes, uno romano y otro árabe, pero situados 100 metros por debajo de la plataforma que ocupa Ronda. Esto ha hecho que la comunicación entre ambas partes haya sido desde siempre lenta y tortuosa.

Ya en el temprano año de 1542 está fechada la solicitud de un permiso para construir un nuevo puente que uniera el tajo por su parte más alta y que también permitiera traer agua a la ciudad, aunque el rudimentario estado de la técnica para construir bóvedas de grandes luces no permitirá ejecutarlo hasta bien entrado el siglo XVIII. Por ello, los habitantes de Ronda tuvieron que continuar cruzando el Guadalevín a través del puente árabe o el



Izquierda, vista nocturna del puente. Página opuesta, vista lateral del Puente Nuevo y de su inacabable vano central.

Puente Viejo, del siglo XIII y reedificado en 1616. En 1735, por encargo del Ayuntamiento, se construyó un puente con una airosa bóveda única de sillaría de 35 metros de luz y a 100 metros sobre el río, pero la obra, firmada por los arquitectos Juan Camacho y José García, se desplomó seis años después, causando 50 víctimas mortales. Todavía hoy es visible el arranque de la infortunada bóveda, apoyada sobre la roca bajo el puente actual, como un fiel testigo de su efímera vida.

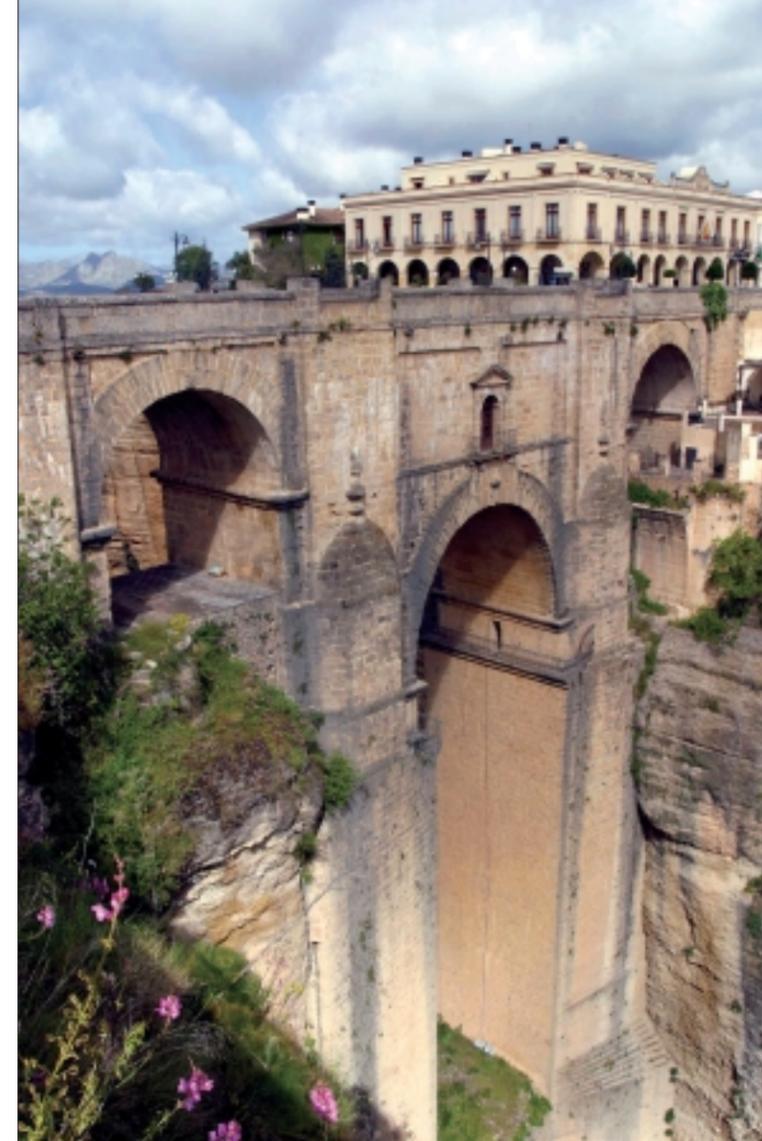
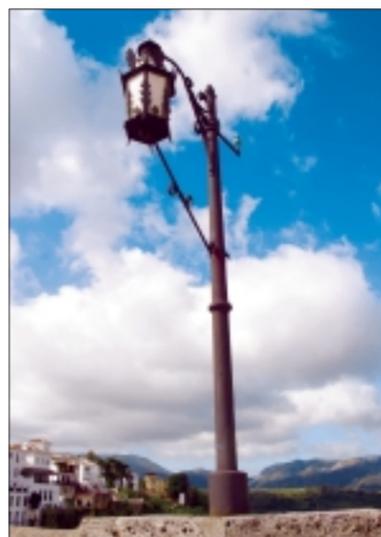
► **EL PROYECTO DEFINITIVO**

Este trágico fracaso demoró, aunque no paralizó, los planes para levantar un nuevo puente, sobre todo a la vista de la proliferación del tráfico carretero en Ronda, lo que obligó a adecuar el Puente Viejo o de Santa Cecilia para el paso de carros. Hacia 1760 el Consejo de Castilla encarga la construcción del nuevo puente a José Martín Aldehuela, arquitecto aragonés que había ejecutado importantes obras en Teruel, Cuenca y, sobre todo, Málaga, donde firmó, entre otras, el Palacio Episcopal, la Casa del Consulado Marítimo y Terrestre, el Colegio de San Telmo y el Acueducto de San Telmo.

Existen discrepancias sobre las fechas de comienzo y fin de las obras, que al parecer se desarrollaron entre 1763 y 1793, aunque algunos aluden a 1751 como fecha de inicio y otros la sitúan en 1758, fijando su terminación en 1787. Sí hay concordancia en que se tardaron unos 29 años en realizarlo.

Para realizar el Puente Nuevo, que debía unir el tajo por una de sus partes más profundas pero menos distantes, se movilizaron numerosos recursos y se ordenó la incautación de los arbitrios de las dos ferias anuales que se celebraban en Ronda, la de mayo y la de septiembre. Tanto este Ayuntamiento como otros pueblos de la comarca aportaron fondos propios para tan magna obra, a la que también contribuyó la Maestranza de Caballería.

En el diseño del puente, que debía encajar en una cerrada de 120 metros de profundidad por 60 metros de anchura, Aldehuela, prevenido por el fracaso del puente anterior y en aras de la máxima seguridad, optó por una obra de ingeniería de gran robustez, eliminando luces importantes y conformándose con aberturas de bóvedas por debajo de los 15 metros. Las bóvedas, lejos de apoyarse sobre los escarpes verticales de la roca, lo hacen sobre unas enormes pilastras que abarcan algo más de los dos tercios de la sección del tajo en ese punto, que arrancan bien del fondo del abismo o bien de los retallos horizontales que la arenisca ofrece en la parte más alta.



Resulta así una enorme pared de sillaría en la que se han dejado los huecos que la roca circundante ha permitido en sus variaciones de anchura, es decir, dos bóvedas de cañón laterales en la parte superior de unos 12 metros de luz y 13 de altura, que se divide en dos, quizá para romper el altísimo hueco central y mejorar de esta forma su estética. La gran bóveda central tiene 14,5 m. de luz. La vía que sobre el puente se coloca toma una anchura de 8 metros y a los pretilos se les da 1,50 metros, según se deduce de la descripción que del puente hace el ingeniero Antonio Molina Cobos en la revista *Cauce*.

Juega Aldehuela con el movimiento de los parámetros desarrollándolos en diferentes planos. Así, la zona inferior se resuelve en un plano exento de decoración. La zona intermedia presenta otro plano ligeramente trasladado hacia el interior que, partiendo de la

base del gran vano central, llega hasta poco más debajo de las impostas de la bóveda. Este plano también se presenta totalmente liso. En el tramo superior de la obra es donde el arquitecto se permitió algunas licencias decorativas, siempre dentro de su austeridad característica: un plano único recibe dos pilastras ligeramente destacadas que acaban en el mismo pretil y serán los vanos laterales del central; sobre ellas, y en su mitad inferior, dos tajamares semihexagonales, con sombreretes de cierto eje oriental, culminan el juego de volúmenes. Pequeñas impostas en los arranques de las bóvedas, adornos en remates de sombreretes, escudos en claves de bóveda y caños de desagüe bajo el pretil completan la escasa decoración de los parámetros del puente.

► **IZADO DE LA PIEDRA**

Uno de los aspectos más impresionantes del Puente Nuevo es el enorme volumen de fábrica de piedra que exigió su construcción. Elevar toda esa masa de sillares hasta 90 metros desde el fondo del río supuso una labor de una complejidad extraordinaria para la época. En este cometido destacó la intervención del rondeño Juan Antonio Díaz Machuca, quien inventó toda clase de ingenios para elevar los materiales desde el fondo del tajo. También participaron en las obras Pedro de Reguera, Jerónimo Ruiz y el maestro Alonso Gil. Efectivamente, las piedras del puente se izaron mediante un sistema de grúas e ingenios destinados a elevar los pesados bloques desde la base del tajo. En el habitáculo que hay en el interior del puente, que fue cárcel y después posada, existe un hueco en el suelo que servía de eje para una gran polea.

Con el paso del tiempo, la piedra arenisca empleada en la obra, que fue extraída en la base del propio tajo, ha dado al puente un color igual al del terreno en que se apoya, y la vegetación ha crecido sobre los retallos horizontales e impostas. Todo ello proporciona un efecto de integración de la obra en el entorno tal que, a lo lejos, parece como si el puente hubiese sido tallado en la misma roca.

Las obras del puente concluyeron felizmente en el año 1793, aunque circula una leyenda que afirma que Aldehuela encontró la

El puente está encajado en una cerrada de 120 metros de profundidad por 60 metros de ancho

muerte al caer al vacío desde un cajón mientras reconocía el puente en el transcurso de ese mismo año. Otra historia asegura que el autor se suicidó una vez terminado el puente para no construir nada igual en su vida. La realidad, sin embargo, es algo menos dramática: Aldehuela murió en la ciudad de Málaga en septiembre de 1802.

► INFLUENCIA EN LA CIUDAD

La construcción del Puente Nuevo tuvo una enorme trascendencia en la expansión de la ciudad de Ronda, hasta entonces encorsetada por la imponente garganta del Guadalevín. Su evolución urbana en el siglo XIX, de hecho, se articula a partir de esta pasarela sobre el tajo, que es como una puerta abierta para una ciudad encerrada y un punto de partida para sus habitantes. Comerciantes, viajeros, paseantes, poetas e ilustrados construyeron un nuevo barrio al otro lado del río, el del Mercadillo, que, poco a poco, fue desplazando los antiguos centros de poder y de reunión, situados en la Ciudad Antigua o centro histórico. El Puente Nuevo, en definitiva, propició el tránsito de la ciudad medieval a la ciudad ilustrada.

Desde su construcción, el Puente Nuevo no ha sufrido grandes modificaciones. En 1800 se instaló el empedrado, que fue costado por la Real Maestranza.

Después de esa fecha la obra sufrió revisiones esporádicas y reparaciones de importancia variable desde 1830, destacando el recalce de las pilas de 1863 y la sustitución de los elementos metálicos y el mobiliario urbano en el año 1867. En 1994 se acometió la primera restauración integral del puente. El tráfico se cortó durante un periodo de seis meses y la ciudad quedó dividida en dos. Ciro de la



Torre, como arquitecto, y Germán García, como ingeniero, fueron los autores de la recuperación de la sección original dibujada por Aldehuela.

Son del mayor interés los diferentes usos que ha tenido esta obra de ingeniería a lo largo de su historia. Por el Puente Nuevo pasaron primero carruajes y después automóviles. También el agua que abastece a la Ciudad Antigua. Viajeros, comerciantes, bandoleros, poetas, ciudadanos y turistas también lo visitaron y lo cruzan hoy a diario. Durante el siglo XIX, los presos peligrosos estuvieron encerrados en una habitación en el interior del puente que fue cárcel en esa época. Después se convirtió en mesón y hoy es un museo que explica la historia del puente. Dicho habitáculo se ubica sobre la bóveda central superior y la iluminación nocturna alumbra a las dos ventanas con arco de medio punto. ■

Arriba, uno de los cuatro bancos de piedra del puente. Debajo, ventana del habitáculo que sirvió de prisión en el siglo XIX.



PUENTE NUEVO DE RONDA

Situación: En el casco urbano de Ronda (Málaga)

Años de construcción: 1763-93

Tipología: Puente de fábrica de sillaría con tres bóvedas de cañón

Longitud total: 63 m.

Luz libre: 14 m.-10,5 m.

Anchura del tablero: 12 m

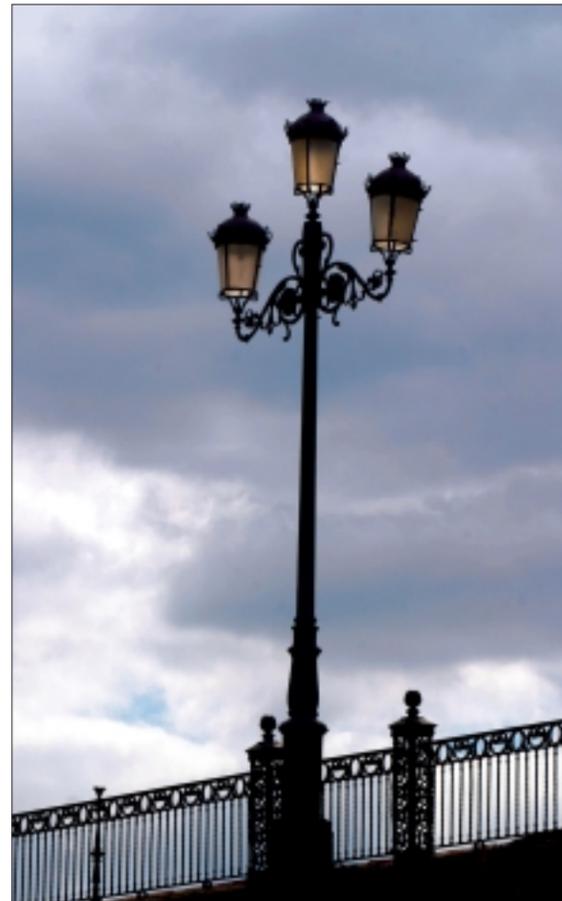
Autor: José Martín Aldehuela



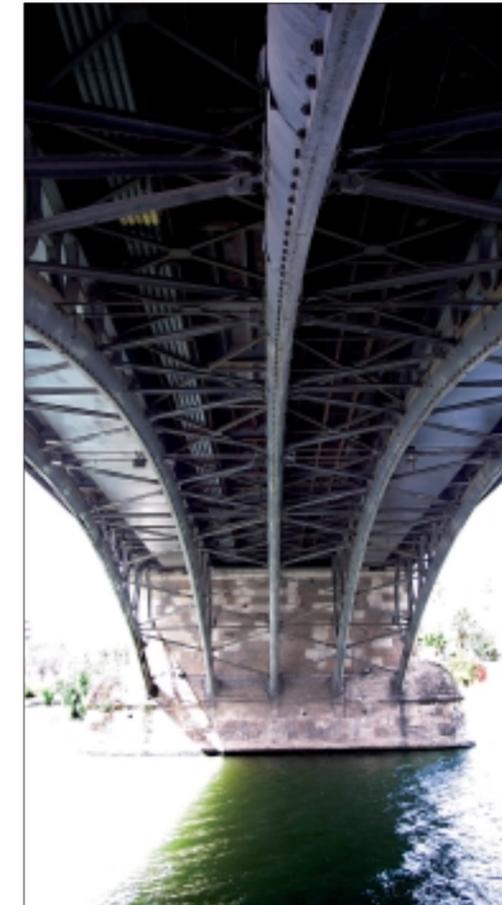
Un puente, sobre todo, popular

RAQUEL SANTOS | Fotos: CABALLERO

Construido a mediados del siglo XIX, el puente de Triana no sólo pasa por ser una joya emblemática del patrimonio de la ingeniería de nuestro país, sino también por tener una fama popular que muy pocos puentes tienen dentro y fuera de nuestras fronteras. Y es que este puente de tres tramos, con cinco arcos de fundición cada uno, es mucho más que una mera estructura para cruzar el Guadalquivir desde Sevilla al barrio de Triana. Su historia, repleta de avatares, confirma que, ante todo, el puente de Triana ha sido, es y será una seña de identidad querida, admirada y respetada a lo largo del tiempo.



El puente de Triana, con su inconfundible estructura metálica, es una de las señas de identidad de la capital hispalense.



Qué bonita está Triana/ cuando le ponen al puente/ banderas republicanas". Así rezaba una famosa copla de la Guerra Civil con la que, como botón de muestra, se avala hasta qué punto este puente ha sido y es objeto de veneración popular y seña de identidad de la capital andaluza, un símbolo sevillano cuya fama nada tiene que envidiar a la Giralda o a la Torre del Oro.

Y eso que los avatares de este puente no han sido pocos. Nació para sustituir al antiguo puente de barcas construido por los árabes en el siglo XII para cruzar el río Guadalquivir desde Sevilla hacia Triana. Era éste un pintoresco puente que en 1842 todavía estaba constituido por 10 barcas de madera de 7 varas de manga.

La vulnerabilidad de ese puente, sometido a continuas avenidas y riadas, el hecho de que entorpeciese notablemente la navegación por el río, de que provocase multitud de accidentes y, sobre todo, los altos costes de conservación que entrañaba, decidieron su sustitución por otro de fábrica sólida.

Del dicho al hecho hubo, sin embargo, un prolongado trecho. Y es que antes de comenzar el diseño definitivo hubo varios proyectos que no se materializaron. El primero, un puente de cinco bóvedas



Los arcos de fundición y los aros circulares de hierro que apoyan el tablero siguen la tipología del puente del Carroussel, en París.

escarzas de ladrillo, lo presentó, en 1825, el arquitecto Silvestre Pérez. A esa propuesta siguió otra, en 1827, de Belleville, y otras dos más, en 1828, de José Agustín de Larramendi, el primer ingeniero de caminos español José Agustín de Larramendi, ambas de hierro y colgantes. En 1930, el entonces Asistente de la Ciudad, Manuel Arjona, promovió la construcción de un puente colgante que, sin embargo y como los anteriores, tampoco llegó a buen puerto.

Y es que no fue hasta 1844 cuando, por fin, se dieron todos los beneplácitos para que se construyera un puente fijo “de firme de hierro sobre pilas y estribos de piedra”, que debía tener una longitud de 460 pies, distribuidos en tres arcos, y una anchura de 16 varas, diez de ellas destinadas al paso de carruajes y caballerías y las seis restantes para sendos andenes, de tres varas cada uno.

El nuevo puente, además, debería alzarse 5 pies sobre el nivel de la máxima avenida conocida, y tenía que ser construido según el sistema Polonceau, el mismo que se había empleado para levantar el puente del Carroussel de París. Se impuso que las piezas de fun-

dición a emplear fueran construidas en España, que el pavimento no tuviera madera alguna y que su tiempo de ejecución no excediera de tres años.

Con estas premisas, la concesión se adjudicó en febrero de 1845 a los ingenieros franceses Fernando Bernadet y Gustavo Steinacher, contratistas de un puente en el Puerto de Santa María y artífices del proyecto que, con algunas matizaciones, finalmente se aprobó.

► **LA PRIMERA PIEDRA**

El 12 de diciembre de 1845 se colocó la primera piedra del nuevo puente de Triana en el estribo del lado de Sevilla. Debía medir 154,5 metros de longitud y su altura máxima de rasante debía alcanzar los 12 metros. Fue todo un acontecimiento que nada hacía presagiar los problemas que surgieron después. En abril de 1846 Bernadet abandonó la empresa del puente y quedó como único contratista Steinacher, que dos años después de comenzar las obras pidió una prórroga de un año alegando retrasos que eran ajenos a él. El Ayuntamiento aceptó, pero con dos condiciones: ter-

Meses antes de su inauguración los arcos fueron sometidos a continuas pruebas de carga con miles de quintales de plomo



minar la obra antes de la feria de 1849 y que el desmonte del lado de Sevilla corriera por cuenta del contratista.

En septiembre de 1848, Steinacher y Cía informó al Ayuntamiento que había cedido toda la contrata al banquero y financiero Francisco Javier de Albert, quien se encargaría de aportar fondos y medios, aunque Steinacher siguió como director facultativo hasta el 24 de octubre. La crisis comercial sobrevenida por la revolución del 24 de febrero de ese año en Francia provocó daños colaterales e imprevistos en el desarrollo del proyecto. Y es que debido a esa crisis Albert quebró, dejando de suministrar fondos a su empresa. Este hecho, sumado a las desavenencias entre los contratistas, hizo peligrar la continuidad de las obras. Ante esa amenaza, en la primera quincena de enero de 1849 la Comisión de Obras Públicas propuso al alcalde que si no se cumplían los plazos se resolvería el contrato y se haría una nueva subasta. Fue en-

tonces cuando Madrid tomó cartas en el asunto. El puente no sólo era imprescindible para los vecinos de Sevilla sino también para otras provincias que pagaban los portazgos, por lo que su construcción debía finalizar en un plazo lo más breve posible.

Fue por eso por lo que el Gobierno recabó el proyecto para sí, lo que dio un giro a los planteamientos de la obra, ya que en el transcurso de esos acontecimientos se decidió que los cinco arcos rebajados (formados por tubos de fundición, cada uno de 14 anillos fundidos en disminución que soportaban el tablero) fueran, finalmente, construidos en la sevillana fundición de Narciso Bonaplata. En este contexto también cambió la dirección del proyecto, que pasó a manos del ingeniero de caminos Canuto Corroza.

Después de estos múltiples avatares, por fin, el nuevo puente de Triana (que recibió inicialmente el nombre de puente de Isabel II, más adelante de Alfonso XIII, del Generalísimo y luego de nuevo de Isabel II, aunque todos los conocen como puente de Triana) fue inaugurado solemnemente el 23 de febrero de 1852.

Casi un mes antes, sin embargo, comenzaron una serie de pruebas de carga para comprobar la fiabilidad del puente. Así, por ejemplo, el arco del lado de Sevilla soportó durante un día entero 2.520 quintales en lingotes de plomo. En días posteriores, se cargaron los otros arcos y, por último, antes de la inauguración, pasaron a la carrera treinta carros cargados con cuarenta quintales de plomo, en fila de a dos, de a tres y de a cuatro.

► **SUS ETAPAS**

El devenir del puente con el transcurso de los años no estuvo exento de problemas. De hecho, y salvo en el segundo cuarto del siglo pasado, fue objeto de diversas reparaciones de diferente índole.

En una primera etapa, desde su inauguración hasta 1881, las intervenciones se centraron en la cimentación, ya que se comprobó que había sido realizada con defectos. Los trabajos consistieron en ir, progresivamente, afianzando las pilas y los estribos del puente.

Aunque el problema de fondo de los cimientos aún no se había resuelto del todo, el puente entra en una segunda etapa que concluirá en 1918 con la sustitución del tablero. Es en esta época cuando aparece el tranvía, primero con tracción animal

y luego eléctrica. La rotura de varias piezas metálicas al paso de un cilindro de vapor municipal, que venía de Triana de compactar calles y paseos, provocó la decisión de prohibir a los vehículos más pesados que cruzasen el puente.

A pesar de que ese suceso ocurrió en 1889 y que ya en el proyecto de reparación de los daños se informó de la necesidad de realizar un estudio completo de la parte metálica del puente, no fue hasta 1916 cuando se concretó un proyecto real para cambiar el tablero. Una vez construido éste, comienza la tercera etapa del puente.

En ese tercer periodo, que se prolonga hasta finales de los años cincuenta del siglo pasado, el puente tuvo un respiro, ya que no necesitó más que trabajos ordinarios de conservación, como, por ejemplo, reposiciones de escolleras, repintados de la parte metálica y renovaciones del adoquinado.

► **LOS ACHAQUES DE LA EDAD**

Con el centenario ya cumplido, el puente de Triana entra en su cuarta etapa. Como si los achaques de la edad ya le estuvieran pasando factura, este periodo de su vida se caracteriza por su incapacidad para servir adecuadamente a los nuevos tráficos urbanos, muy intensos y pesados.

De hecho, ya en 1958, año en el que los expertos fechan el comienzo de esta cuarta etapa, el puente se cierra al tráfico de camiones y autobuses. Conscientes las autoridades locales de los serios problemas que arrastra el puente, se encargan sucesivos informes para evaluar el estado real de sus estructuras. El Viernes Santo de 1974 ocurre algo que aceleraría una solución más contundente. Ese día, al paso de la Hermandad de la Esperanza de Triana camino de su capilla, el puente sufrió una vibración que provocó escenas de pánico entre los allí congregados.

Varios informes ya apuntaban que la resistencia del puente era cada vez menor debido a las cargas de los vehículos que por él circulaban; que el arco, diseñado para aceptar cargas continuas, era inadecuado para cargas aisladas; y que el refuerzo o reparación no era posible ya que una intervención de ese tipo, “por lo airoso y esbelto de los arcos”, produciría una pérdida de esa cualidad.



A raíz de esos informes y de la alarma creada por la situación del puente, se recomendó su cierre al paso de vehículos ligeros y la prohibición de cualquier tipo de paso multitudinario.

La circulación rodada se prohibió el 10 de agosto de 1974. Ese corte generó numerosas incomodidades en el tráfico, problemas a los comerciantes de Triana y, sobre todo, un importante debate público sobre si se debía o no demoler y levantar otro nuevo.

Al final, el Ayuntamiento acordó que el puente se conservase y que se buscara una fórmula que permitiera su uso normal sin menoscabar su aspecto y conservando sus elementos definitorios. La solución fue salomónica, ya que estaba a mitad de camino entre la demolición y la conservación del insigne puente. Consistía en sustituir el tablero apoyado en las pilas, estribos y arcos por otro que sólo lo hiciese en las pilas y en los estribos. Con esta solución, los arcos y anillos quedaban como meros elementos decorativos sin función estructural, es decir, estos elementos dejaban de trabajar para sustentar el puente.

Así, el tablero del nuevo puente consta de una viga continua formada por dos vigas cajón, arriostradas, a su vez, formando una estructura única por una lo-

En esta página, vista oblicua del puente y detalle de uno de sus apoyos metálicos. Página opuesta, una capilla y un popular bar se sitúan en las dos entradas del puente.



sa ortótropa de chapa rígida inferior y, longitudinalmente, con nervios en “V”. Con esta nueva disposición se lograron los objetivos que se perseguían: devolver al puente su uso habitual, conservar su aspecto y mantener los elementos originales.

La apertura al tráfico, de nuevo, del puente fue una alegría para todos, no sólo porque se volvía a restablecer la comunicación entre Sevilla y Triana sino también porque ello supuso seguir disfrutando de una de las obras maestras de la ingeniería del siglo XIX.

► **LA SUERTE DEL PUENTE DE BARCAS**

La construcción del nuevo puente de obligó a trasladar al antiguo puente de barcas que había conectado durante casi 700 años Sevilla con Triana a otro lugar porque, de lo contrario, no podían comenzar las obras. El nuevo emplazamiento del legendario puente árabe fue la siguiente rampa del río, “unas cien varas aguas abajo”, entre la plaza de toros y la iglesia de Santa Ana.

A las nueve de la mañana del 30 de junio de 1845 comenzaron las tareas. En ese momento se cortó al tráfico el puente para ir trabando barcas y preparando compuertas y retenidas. A las cinco de la tarde se cortaron amarras. Fue un acto solemne al que asistieron diversas personalidades y numerosos vecinos. Empavesado el puente, dirigido por el práctico Juan González, entre barcos de curiosos y una falúa para autoridades –precedidos por un yate de vapor para invitados–, el puente llegó a su destino, y fue amarrado a eso de las siete de la tarde. El martes 1 de julio de 1845 se aseguraron las amarras del puente y, al mediodía, se abrió al paso.

La suerte del puente de barcas quedó echada inmediatamente después de la inauguración del nuevo puente de hierro. En marzo de 1852 se elaboró un minucioso inventario del puente con la intención de subastarlo. La valoración: 316.635,26 reales de vellón. Ese precio incluía nueve barcos, compuertas de ambas bandas, ocho pares de cuarteles y barandas, maderas para reparaciones, cabos, cables, cadenas, anclas y demás material guardado en el almacén del puente, que también entraba en el lote.

La subasta quedó desierta porque la única oferta que se presentó no llegaba ni con mucho al precio tipo que se había fijado de 242.000 reales. En mayo se anunció la nueva subasta sobre la base de 50.000 reales. En junio, por fin, el puente se adjudicó por la cantidad de 77.070 reales, conseguidos tras la puja de mejora del medio diezmo. Poco después, el puente de barcas se desmanteló, sus barcas levaron anclas y fueron varadas. ■

PUENTE DE TRIANA

Situación: Sevilla
Año de construcción: Iniciado en 1845 y concluido en 1852
Longitud: 154,5 metros.
Anchura de tablero: 15,9 metros.
Altura máxima de rasante: 12 metros.
Autor: Proyecto inicial de Fernando Bernadet y Gustavo Steinacher, ejecutado finalmente por Canuto Corroza.



Un eslabón en la frontera

RAQUEL SANTOS | FOTOS: CABALLERO

La imponente obra que supuso y su extraordinario emplazamiento convierten al Puente Internacional de Salamanca en uno de los emblemas de la ingeniería pública del siglo XIX. Este puente ferroviario, que comunica España con Portugal, cruza oblicuamente el río Águeda con cinco grandes vigas de celosía enrejillada. Las especiales características del terreno donde se ubica y las durísimas condiciones que tuvieron que soportar los trabajadores que lo construyeron elevan el mérito de una obra precursora de la modernidad.

Arriba, vista frontal del puente, con sus cinco vanos. Derecha, escudo español en uno de los estribos.



La historia del Puente Internacional de Salamanca, más conocido como Puente Internacional sobre el Río Águeda, está intrínsecamente ligada al devenir de la línea de ferrocarril de Fuente de San Esteban a Barca de Alba, una línea que surca las tierras del centro y occidente de la provincia de Salamanca y que continúa en paralelo al río Duero, entrando en territorio portugués para buscar los ferrocarriles lusos de la Beira Alta y del Douro, hasta comunicar con la ciudad de Oporto.

La petición de la concesión de la línea se tramitó entre 1870 y 1881 y fue en este último año cuando, finalmente, fue adjudicada a la Sociedad Financiera de París. La concesión a esta empresa tiene su explicación. Por aquellos años, nuestro país se encontraba agotado económicamente tras un siglo de guerras civiles, unas circunstancias que dejaron a la población empobrecida y a las administraciones públicas sin recursos económicos. Esa pobreza y el retraso del país hicieron necesarios capitales y concesiones extranjeras. De hecho, un año después de ser adjudicada la línea, el banquero francés Henry Burnay tuvo que buscar financiación en Portugal, creándose el sindicato de Oporto de banqueros y capitalistas que, junto con el apoyo gubernamental portugués, continuaron la construcción de la línea española.

Así y todo, el 31 de agosto de 1883 se iniciaron oficialmente las obras de la línea, caracterizada, sobre todo, por la impresionante obra de ingeniería realizada en sus últimos 17 kilómetros, donde para salvar un desnivel de algo más de 300 metros —entre la estación de La Fregeneda y el Puente Internacional— se construyeron nada más y nada menos que 20 túneles y 13 viaductos metálicos.

El enclave del Puente Internacional se sitúa, concretamente, en la confluencia del río Águeda con el Duero, en un lugar conocido como Vega Terrón y señalado en el mapa en el kilómetro 77,564 de la línea. Lo escarpado del terreno, que marcará toda la construcción de la infraestructura ferroviaria, obligó a trasladar el puente unos 180 metros con respecto a su concepción inicial y a cambiar su dirección primitiva para, finalmente, cruzar el río oblicuamente sobre un ángulo de 60°-15' respecto al eje del cauce.

Los ingenieros que desarrollaron el proyecto argumentaron que, con esa nueva ubicación, la velocidad del agua quedaría siempre atenuada en el puente, contrarrestando así el relativo pequeño



lecho del río junto a la hoz, la represa que hace en sus aguas y la corriente impetuosa del río Duero. Al mismo tiempo, tuvieron en cuenta, desde el principio, dar a las aguas el máximo nivel, alejando tanto como fuera posible los encuentros y eliminando, así, los grandes macizos de mampostería.

Se optó además por el tablero metálico en lugar de bóvedas de piedra, dada la extrema oblicuidad del trazado y los altos costes entonces de la mampostería, sobre todo, de piedra de granito.

► **DEBATE SOBRE LOS VANOS**

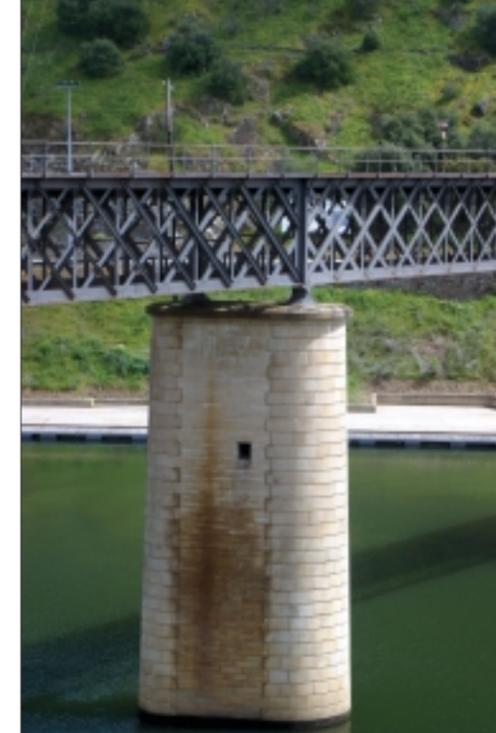
Una vez tomada esa decisión, se estudió el número de tramos más conveniente para el puente. Tres vanos conllevarían dos pilares, una opción que no plantearía muchos problemas de construcción pero sí de transporte de las grandes vigas, ya que éstas no podrían llevarse ni por la línea férrea ni por el río. Además, los tramos resultantes serían muy largos, superiores a los 60 metros lineales.

Cuatro vanos obligarían a colocar un pilar en medio del río y otros dos en los extremos a mayor altura del agua. La ubicación de un pilar en medio del cauce era, según los ingenieros, “algo siempre poco elegante”.

Descartadas ambas alternativas, los responsables del proyecto optaron por construir un puente de cinco tramos de grandes luces –los vanos intermedios miden 40 metros y los laterales 32– que se debían salvar a través de otras tantas parejas de vigas metálicas en celosía enrejillada con montantes y tablero superior. Esta solución permitía “no disminuir demasiado la apertura de los tramos” y dar a la nueva infraestructura “una perfecta armonía” con las condiciones del terreno. Además, los tramos metálicos son independientes, de cordones paralelos, y se encuentran arriostrados por parejas, tanto en la parte superior como inferior. Junto al estribo español existe un tramo más pequeño bajo el que discurre la carretera que da acceso al embarcadero de Vega Terrón.

Con este planteamiento, se colocaron los pilares 1 y 4 asentados junto a los márgenes del río. Los pilares 2 y 3 se situaron en una pequeña curva del terreno en medio del río, dejando libres dos corrientes cercanas: la principal, que se encontraba en la margen derecha; y la secundaria, que derivaba de la principal y seguía por la margen izquierda. Como curiosidad hay que decir que las dos pilas centrales, española y portuguesa, cuentan con una hornacina dispuesta para la voladura del puente en caso de conflicto bélico.

El tablero metálico y luces de hasta 40 metros entre pilares definen esta gran obra.



Según los estudios realizados en el momento, el lecho del río estaba conformado por pizarra negra y dura, cuyos estratos estaban dispuestos en dirección sensiblemente paralela al eje del puente. Esa composición afloraba en gran parte del terreno, quedando cubierta la parte restante por tierra de aluvión, de espesor más pequeño. Esas circunstancias hicieron pensar a los ingenieros que no habría dificultades considerables para establecer los cimientos de apoyo a una profundidad media de unos 4 metros.

Los pilares de los extremos fueron construidos mediante técnicas ordinarias y los intermedios por medio de cajones de madera y sin fondo, iguales a los que se emplearon en la construcción de los pilares del puente sobre el Cavado de la línea del río Miño.

Los responsables del proyecto auguraron que la construcción se podría realizar en seco en todos los apoyos, formando los cimientos de los pilares y los encuentros del lado de España con mampostería hidráulica. A pesar de ello, no descartaban que en algunos pilares “el secado completo no podrá ser alcanzado”, por lo que la construcción tendría que recurrir al dragado y a la mezcla de hormigón hidráulico sumergido.

Los pilares tendrían una altura de 19,6 metros,

El puente, inaugurado en 1887, estuvo en servicio durante casi un siglo, hasta el cierre de la vía férrea

desde el suelo a la cornisa, y su superficie de apoyo sobre los cimientos sería de 26,23 m².

El tablero metálico, por su parte, está compuesto por dos vigas principales cuya altura de 4 metros corresponde a la décima parte de la mayor de las luces de los tramos. Dispone de una parte superior, la más fuerte, que está insertada interiormente con carlingas, unidas unas con otras longitudinalmente por los dos largueros sobre los que se asientan las traviesas del ferrocarril, largueros que son paralelos y que sirven de apoyo a las traviesas.

Las vigas principales son rectas, continuas y de celosía. Distanciadas entre sus apoyos 3,5 metros, están formadas en sus soportes por una chapa horizontal y una contrachapa vertical de las mismas dimensiones, además de por las respectivas cantoneras (rinconeras) y las convenientes chapas complementarias en mitad de los tramos y sobre los pilares.

La celosía de malla doble está formada por barras inclinadas de unos 45° y clavadas en las chapas verticales de los soportes. Están montadas sobre nervios verticales igualmente clavados fuertemente en los soportes y cuentan, además, con sus respectivos puntos de cruzamiento. En conjunto, la celosía está dividida en cuadros de 2 metros de largo.

► **LA CELOSÍA**

La celosía de malla doble está formada por barras inclinadas de unos 45° y clavadas en las chapas verticales de los soportes. Están montadas sobre nervios verticales igualmente clavados fuertemente en los soportes y cuentan, además, con sus respectivos puntos de cruzamiento. En conjunto, la celosía está dividida en cuadros de 2 metros de largo.

Los montantes están compuestos por dos cantoneras ligadas y sirven de punto de inserción de las carlingas más vigorosas de los soportes. Los montantes especiales sobre los encuentros del puente y sobre los pilares, asimismo, están formados por un sistema de chapa de sección rectangular y de cantoneras que avala perfectamente la resistencia de toda la infraestructura.

Por su parte, las carlingas, cuyo intervalo está determinado por los montantes, es decir cada 2 metros, se componen de una fuerte chapa vertical y cuatro cantoneras, ligadas dos a dos, superior e inferiormente.

Los contravientos horizontales y verticales están formados por cruces de San Andrés y con ellos se completa el sistema de la sobreestructura. Los cruces del contraviento horizontal abarcan dos cuadros de celosía y constituyen, ellos mismos, una celosía de malla simple. El contraviento vertical está dispuesto de 4 en 4 metros.

El puente cuenta, por otra parte, con un pasillo de inspección que ocupa longitudinalmente toda la extensión del tablero y que está apoyado en cantoneras horizontales de los contravientos. Este pasillo, que mide 0,60 metros de ancho, es una combinación del tipo adoptado en los viaductos de la línea del Duero y del tipo de los viaductos laterales del Puente Luis I. Según se describe en el proyecto de construcción del puente, este pasillo "tiene las traviesas de madera y la chapa estriada del pavimento y dispone de una rigidez conveniente gracias al empleo de cantoneras horizontales que le sirven de parapeto y de cantoneras en el contraviento vertical que funcionan como balasto".

► VÍA FÉRREA

Sobre los largueros del tablero se asienta la estructura de la vía, compuesta por traviesas de roble distanciadas 0,6 metros, unas de otras. Los carriles o rieles son de acero, con un peso de 30 kilos por metro y un perfil tipo aprobado para las líneas del Miño y el Duero. En toda la extensión del tablero se aplicaron contracarriles de perfil Harte-vich, engastados o pegados con carlingas, como se hizo en la construcción de los viaductos metálicos de la línea del Duero.



Arriba, las cruces de San Andrés que forman los contravientos. Derecha, tablero superior y vía férrea.

La vía mide, entre los bordes internos de los carriles, 1,67 metros, tal y como fue establecido para la construcción de las redes de las líneas entre España y Portugal. El carril, además, quedó a 24,53 metros de distancia del nivel supuesto de sequía. Por último, para evitar la combustión de las traviesas y para facilitar el paso del personal, las entrevías y las bermas quedaron cubiertas por chapa estriada.

Tras arduos trabajos y múltiples penurias, la línea, con el puente fronterizo de 200 metros de longitud como máximo emblema, fue inaugurada el 8 de diciembre de 1887. Según cuentan los historiadores, dos trenes, uno español y otro portugués, llegaron al puente internacional, engalanado vistosamente para la ocasión, y sobre él juntaron sus topes las locomotoras. Se abrió así oficialmente un nuevo camino de hierro que simbolizaba la esperanza de llevar grandes beneficios a ambos países y que facilitara la prosperidad y el bienestar de las comarcas que surcaba, una vía de comunicación entre España y Portugal que más que desarrollar el tráfico ferroviario estaba llamado a crearlo.

Y así fue durante un siglo, hasta que el 1 de enero de 1985, debido a la baja rentabilidad económica, la línea se cerró al tráfico de personas y mercancías. La falta de renovación y conservación del material, el vandalismo y el paso del tiempo han ido mermando también la calidad de una infraestructura que, aún fuera ya de servicio, representa un magnífico y valioso ejemplo del arte de re-va-



lizar la belleza de un paisaje natural mediante la inclusión de una obra pública, que que en el año 2000 fue declarada Bien de Interés Cultural con la categoría de monumento por el Ministerio de Educación y Ciencia.

► PENURIAS DE LOS TRABAJADORES

La construcción de toda infraestructura está, como es lógico, condicionada por las características del terreno donde se va a ubicar, pero en el caso del Puente Internacional sobre el río Águeda ese sometimiento alcanzó niveles superlativos, algo que repercutió de una manera extraordinaria en las condiciones de trabajo de los hombres que lo construyeron.

En el propio proyecto descriptivo de la obra, los ingenieros ya apuntaban las dos causas que elevarían los costes de las obras. Por una parte, las dificultades de aprovisionamiento de los materiales que se emplearían en el proyecto. "La región es de pizarra y, por eso, el granito, sobre todo de cantería, tiene que ser explotado lejos, imponiendo unos traslados superiores a los 8 kilómetros", decían. Esa falta de material limitó, de hecho, el uso de

la albañilería ordinaria de granito en los cimientos, optando por aplicar pizarra más mampostería. La madera de pino era rarísima en Portugal, por lo que se substituyó por la de chopo. La madera de roble llegó de España.

La segunda causa que incrementó el coste del proyecto fue la falta de trabajadores. El puente se construyó en una región en la que la población era muy escasa y, para remate de los males, con una muy mala fama de fiebres.

La mano de obra tuvo que llegar, así, de Portugal, Galicia y Extremadura. En algunos momentos la plantilla sobrepasó los dos mil trabajadores y entre sus componentes había prófugos y vulgares delincuentes a los que buscaba la Guardia Civil. Según los documentos de la época, a mediados de junio de 1884 trabajaban 636 hombres como obreros peones en el movimiento de tierras; 367 albañiles en la realización de obras de arte y 457 viven en continuo peligro de la perforación de los túneles. El resto, hasta casi dos mil, se dedicaban a trabajos de transporte y actividades complementarias.

Las condiciones laborales de toda esta gente eran extremadamente duras. No existían alojamientos adecuados; por la noche se hacían en contados barracones —la mayoría tenadas, corrales o pajares—; tenían una mala alimentación y los hospitales o dispensarios de emergencia brillaban por su ausencia. Estas condiciones provocaron multitud de reyertas y brotes graves de paludismo e infecciones intestinales. Los obreros heridos apenas pudieron ser atendidos por el médico de La Fregeneda y el viejo cementerio de la localidad se quedó pequeño para enterrar a los muertos. ■

PUENTE INTERNACIONAL DE SALAMANCA

Situación: Municipio de La Fregeneda (Salamanca), en la confluencia del río Águeda con el Duero y junto al actual embarcadero de Vega Terrón.

Año de construcción: Finalizado en 1887.

Longitud total: 200 metros

Altura máxima de rasante: 33 metros.

Anchura de tablero: 5,4 metros.

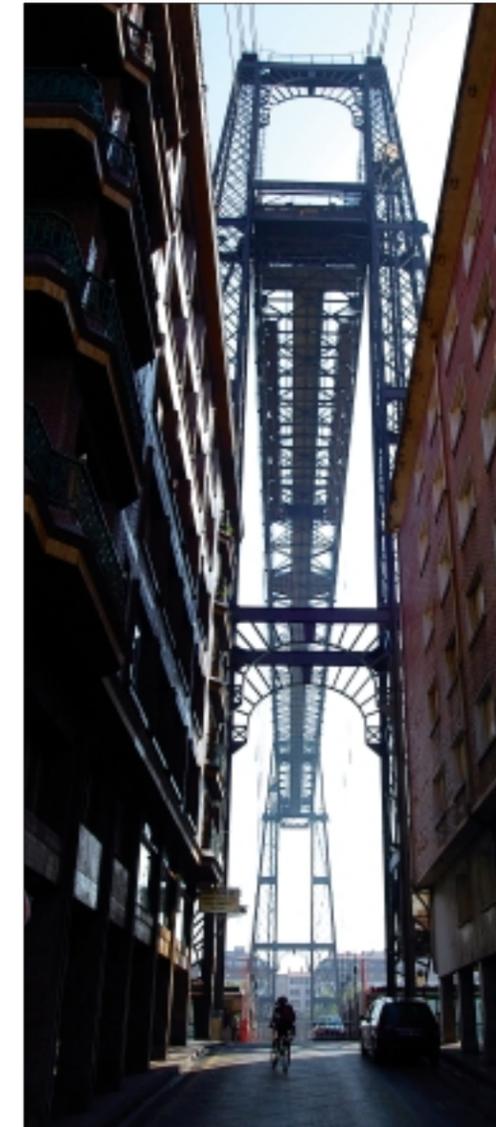


Un transbordador pionero

RAQUEL SANTOS | Fotos: M. D. CORDERO

Una solución brillante a un problema funcional. Así es como definen los expertos el puente transbordador de Portugalete, también conocido como Gran Puente Colgante de Vizcaya, una obra de ingeniería de Alberto Palacio que marcó un hito en la historia de estas infraestructuras por ser el primero de sus características en el mundo. El ingenio consistió en un puente de viga de la que pende una barquilla transbordador sujeta por cables, una alternativa audaz que permite cruzar la ría del Nervión en su desembocadura desde hace más de cien años.

La elevada estructura metálica del puente y su barquilla forman parte del paisaje de la ría desde 1893.



Cuando el arquitecto e ingeniero vizcaíno Alberto Palacio se propuso construir un sistema que enlazase las márgenes de la desembocadura de la ría del Nervión (Bilbao) los problemas a los que se enfrentaba no eran pocos. En su época, cruzar brazos de mar, rías o canales marítimos era, de hecho, una dificultad de primer orden porque había que luchar contra fenómenos naturales como las variaciones de los niveles del agua provocadas por las mareas y el oleaje, el viento o las corrientes marinas.

Además de salvar esos obstáculos, el paso que se diseñase debía estar totalmente libre en altura y en anchura, tanto para permitir el tránsito de los buques con mayores arboladuras como para no entorpecer al resto de la navegación.

► DESCARTANDO OPCIONES

Con estas premisas, Alberto Palacio analizó prácticamente todas las opciones disponibles en la época para encontrar la mejor solución: sistemas de barcazas, gabarras flotantes, puentes giratorios, levadizos, basculantes, submarinos, elevados... Una de las alternativas que estudió más concienzudamente fue, por ejemplo, la que se había utilizado en el transbordador de Saint-Malo, en Francia, para unir un brazo de mar de 90 metros de ancho. Consistía en una estructura metálica que rodaba sobre unas vías colocadas en el fondo del agua, una solución no apta para el problema de Palacio por su escasa seguridad debido a la profundidad y la corriente de la ría del Nervión en el lugar del cruce.

Así, ninguna opción de la época resolvía satisfactoriamente el problema. Ninguna excepto la que ideó y bautizó el arquitecto e ingeniero vizcaíno como Puente Transbordador Palacio.

Su diseño cumplía con todas las exigencias necesarias: posibilitaba el traslado de pasaje y carga; no dificultaba la navegación, porque para su lanzamiento no se necesitaba cimbra o andamiajes que pudieran entorpecerla y sus altas pilas ocupaban, además, muy poco espacio en cada margen; su coste era razonable (un millón de pesetas, de las de entonces); y garantizaba un servicio regular al no estar sometido a inclemencias o eventualidades, porque a un transbordador que funciona en el aire no le afectan ni las corrientes, ni los oleajes, ni las subidas o bajadas de marea.



Así comienza la historia del Gran Puente Colgante de Vizcaya o Puente de Portugalete, una maravilla de la ingeniería de su tiempo, el primero del mundo de este tipo y símbolo de una época y de un pueblo.

Su construcción no fue, sin embargo, coser y cantar. Antes de ver la luz el definitivo, hubo tres proyectos distintos sobre el puente. El proyecto final descarta el empleo de cables como carriles, es decir, como si fuera un teleférico, y se decanta por una estructura basada en dos vigas horizontales que soportarían los carriles, apoyadas sobre cuatro pilares o torres asentadas en los muelles de ambas márgenes.

► **CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURA**

Las obras comenzaron el 10 de abril de 1890 en la margen de Portugalete. Los primeros trabajos se centraron en la prospección del terreno, que, por su naturaleza arenosa, presentaba serios problemas para la obra. De hecho, el emplazamiento elegido había sido una playa no hacía mucho tiempo.

Solventados los contratiempos que se produjeron durante la preparación de los suelos, las obras avanzaron viento en popa. Una vez finalizadas las excavaciones se pasó a las cimentaciones, sobre

las que se colocaron las torres o pilares izadas a tramos con la ayuda de un andamiaje de madera. Las excavaciones para ejecutar los cimientos de las cuatro torres alcanzaron los 10 metros de profundidad.

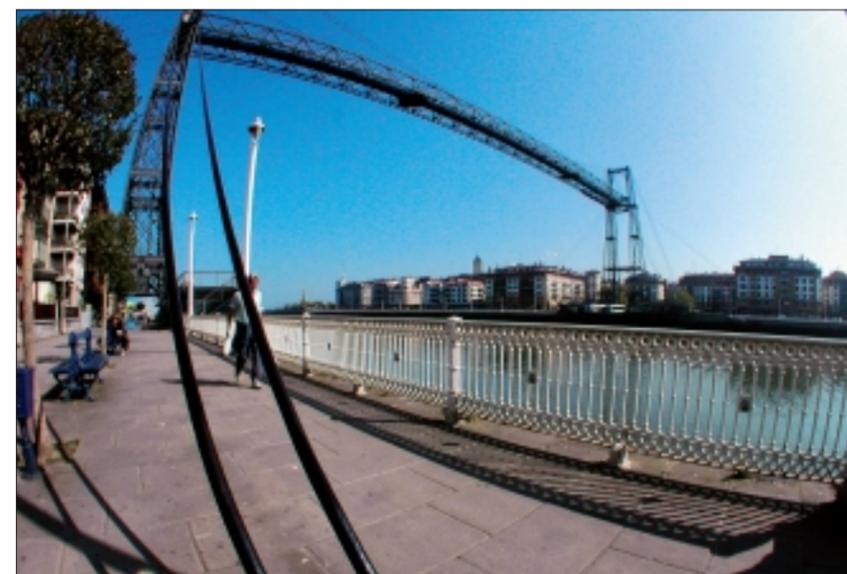
Las uniones de la estructura metálica, que inicialmente se armaron con pernos, fueron finalmente sustituidas por remaches. La soldadura aún quedaba lejos.

Concluidas completamente las torres se instalaron los vientos y contravientos, dando paso al montaje del tablero o vigas que, apoyadas sobre las torres, unían ambas márgenes. El montaje se realizó a tramos, que desde una gabarra eran izados a su ubicación definitiva. Según las crónicas de la época, esta parte de la obra fue la más compleja.

La estructura estaba prácticamente acabada y el resultado era éste: un puente de cuatro torres metálicas, arriostradas con cables de acero y enlazadas dos a dos, con una altura total de 51 metros. El tablero, constituido por una viga en cruz de San Andrés, medía 2 metros de canto y 165,60 metros de longitud. La altura libre sobre el muelle alcanzaba los 43 metros.



Detalles de las torres metálicas y del tendido de cables de acero que rigidiza el puente.



Horizontalmente, la viga se arriostraba mediante otra celosía en cruz de San Andrés de 7,6 metros de canto. A ella se añadían montantes en el cruce de las diagonales. El sistema de suspensión estaba compuesto por cuatro cables parabólicos por cabeza. Para contrarrestar la enorme esbeltez de la viga y paliar la posible debilidad del tablero ante fuertes vientos se dispusieron ocho obenques por cabeza, que proporcionaron al conjunto una mayor rigidez en sentido vertical. La viga, además, se sustentaba en su parte central con 94 péndolas verticales.

Todo quedaba anclado en sendos macizos situados en ambas márgenes.

Pero aún quedaba algo por hacer: construir la barquilla que debía trasladar al pasaje. La original estaba construida con tablones, disponiendo de refuer-

zos de chapa en los anclajes a los cables de suspensión. Curiosamente, y no pudiendo eludir las marcadas diferencias sociales de la época, disponía de dos clases de pasaje, separadas por una red. Los pasajeros de primera disfrutaban de tres filas de bancos cubiertos, situadas a ambos lados de las barquillas. Los de segunda compartían la parte central descubierta con carruajes, mercancías y ganado.

Las pruebas para comprobar la fiabilidad de la barquilla fueron exhaustivas. Fue cargada con 26 toneladas de peso, que junto al suyo propio sumaban 40 toneladas, cuatro veces el peso normal de la carga máxima de funcionamiento. En esas condiciones, se realizaron varios viajes a diferentes velocidades para comprobar el comportamiento de la nueva construcción. Los resultados fueron plenamente satisfactorios.

► **INAUGURACIÓN CON ANÉCDOTAS**

El sueño, por fin, se había hecho realidad y, como no, su inauguración fue todo un acontecimiento no exento de anécdotas que han pasado a la historia. Tuvo lugar el 28 de julio de 1893 y comenzó con un banquete celebrado en un hotel de Las Arenas al que fueron invitadas todas las personalidades gubernamentales y religiosas de la época. Cuando acabó el ágape se celebró una misa a bordo de la barquilla, tras la cual el cura párroco de San Nicolás de Bari de Algorta bendijo el puente.

Los espectadores que habían presenciado ese acto se agolparon frente a la construcción y en un momento dado rompieron los controles e irrumpieron en la barquilla; ante la presión de los visitantes, hubo que mantener en el servicio hasta el anochecer.

No se quedan ahí las curiosidades. Apenas ocho días después de la inauguración del puente y coincidiendo con una visita oficial a la provincia, S.A.R la Infanta Isabel de Borbón visita Portugalete para conocer la nueva obra. Queda tan encandilada que realiza el viaje en más de seis ocasiones. Al acabar la visita, Doña Isabel entregó a Alberto Palacio una fotografía dedicada en recuerdo del acontecimiento.

La estructura del tablero fue izada tramo a tramo desde una gabarra anclada en la ría

El feliz devenir de este pionero puente se quebró con el estallido de la Guerra Civil. Fue alcanzado durante varios bombardeos aunque no sufrió daños



muy graves. En junio de 1937, sin embargo, ante la inminencia de la llegada de las tropas nacionales, el batallón de Ingenieros del Ejército del Norte recibe la orden de destruir todos los medios que permitiesen cruzar el Nervión. Había que poner trabas al avance de las tropas de Franco.

La madrugada del 17 de junio de 1937 se produce la voladura del puente, cuyo travesañ cae a las aguas de la ría. Sólo cinco días después la guerra concluye. A partir de ese momento, el nuevo régimen pasó a administrar la infraestructura.

Escasos días después de su voladura, se iniciaron los trabajos de dragado de la ría para permitir la navegación hasta los Altos Hornos de Vizcaya, en Sestao, y demás industrias ubicadas a los márgenes del Nervión.

► **TRABAJO DE RECONSTRUCCIÓN**

La reconstrucción del insigne puente tuvo que esperar dos años más. Fue el único descanso, y forzoso, que se ha tomado en su vida. Así, el 5 de agosto de 1939 se aprueba el proyecto de reconstrucción, del que se encargaría Juan José Aracil. Este ingeniero de caminos introdujo algunos cambios sobre el original, fundamentalmente por la evolución en los conocimientos sobre el trabajo de vigas y de los sistemas de suspensión de los puentes colgantes.

Precisamente, el cambio más significativo tie-

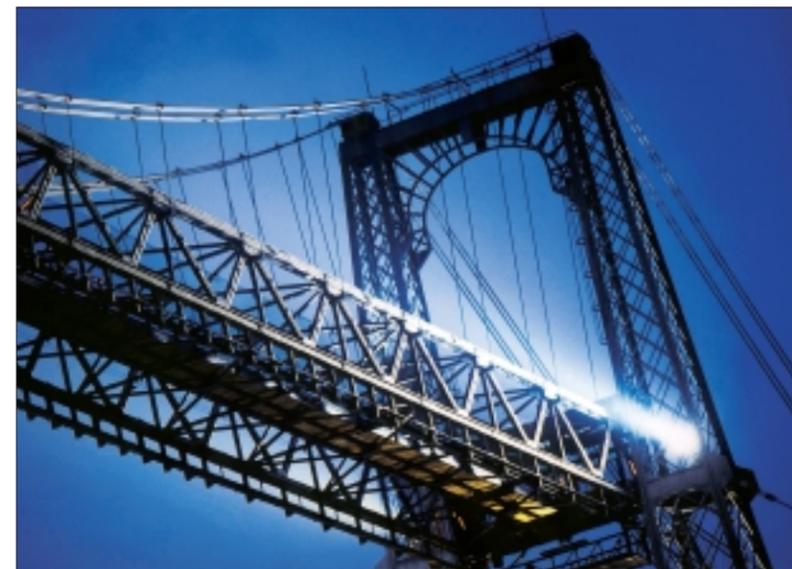
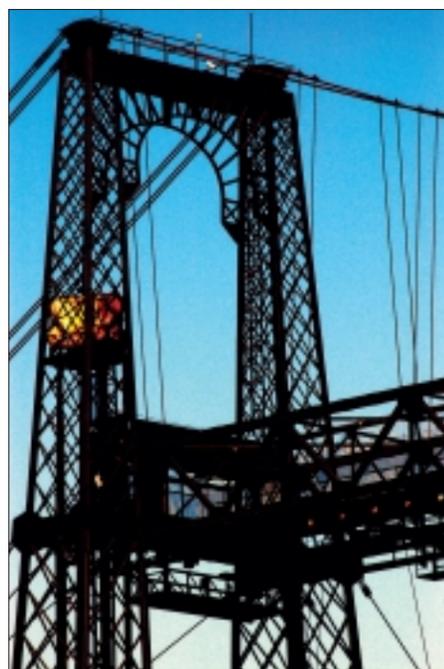
ne que ver con esos sistemas de suspensión. Aracil adoptó uno a base únicamente de péndolas. Eso supuso una reducción de rigidez que implicó aumentar la inercia de la viga, que pasó de dos a tres metros de canto. La otra modificación importante fue que cambió la primitiva disposición en cruces de San Andrés por una viga Warren de malla ancha.

Al fin, algo menos de dos años después de haber comenzado la reconstrucción, el 19 de junio de 1941 se reinauguró el servicio.

Desde entonces, esta emblemática infraestructura ha ido adecuándose a los tiempos que la tocaba vivir, hasta llegar a nuestros días y aprovechar, cómo no, las tecnologías de la información en sus servicios. Los carruajes dieron paso a los automóviles y el crecimiento económico y el desarrollo urbanístico del entorno impusieron nuevos servicios, cada vez más modernos.

Prueba de ello es que,

El puente de Portugalete tiene gran similitud constructiva con otras obras contemporáneas de hierro, como la Torre Eiffel.



PUENTE DE PORTUGALETE

Situación: En el tramo final de la ría de Bilbao. Entre Portugalete y Las Arenas.

Año de construcción: Inaugurado en 1893.

Longitud: 165,5 metros.

Altura máxima de rasante: 43 metros.

Anchura de tablero: 7,6 metros.

Autor: Alberto de Palacio. Reconstruido en 1941 por Juan José Aracil.

actualmente, se puede adquirir su billete mediante expendedoras automáticas y en la tradicional taquilla. Desde febrero de 1998, además, un nuevo sistema de expendedoras automáticas móviles permite a los conductores adquirir los billetes directamente en barquilla.

La Sociedad El Transbordador de Bizkaia, además, pone a disposición de los turistas y visitantes un servicio gratuito de azafatas y personal auxiliar de información que resuelve todas las dudas de los pasajeros, en castellano, euskera, alemán y francés. A través de Internet se puede, incluso, adquirir algún recuerdo del puente, un puente que hoy en día funciona las 24 horas del día y los 365 días del año, que realiza un transbordo cada 8 minutos y que tarda apenas un minuto y cincuenta segundos en comunicar Portugalete con Las Arenas. Un pequeño viaje en el que se resume una obra de ingeniería grandiosa.

► **REGATAS Y FUNAMBULISTAS**

Desde su inauguración en 1893, el Puente de Portugalete o Gran Puente Colgante de Vizcaya ha estado íntimamente ligado a los acontecimientos sociales y culturales de su entorno y ha sido objeto y testigo de innumerables actividades culturales que han pasado a la historia de este majestuoso transbordador.

Y es que además de convertirse en símbolo de un pueblo y en paso cotidiano para cuantos necesitan cruzar la ría del Nervión, este puente ha sido testigo de numerosas regatas, ha servido de punto de partida de aventuras náuticas que han dado la vuelta al mundo, ha sido el escenario de circos, soporte de funambulistas y deportistas de alto riesgo, actor mudo de varias películas, pórtico de celebraciones, musa de pintores y literatos, ha sido utilizado de improvisada iglesia y punto de encuentro de reivindicaciones.

A lo largo de más de un siglo, este transbordador, además, ha lucido la titularidad de las obras monumentales de Vizcaya, un honor que ha pasado a compartir con el Museo Guggenheim de Bilbao.

Su fama también traspasó pronto nuestras fronteras. Gracias a la similitud constructiva con otros monumentos de hierro contemporáneos de gran magnitud como la Torre Eiffel, unida a la amistad personal entre Eiffel y Palacio, la inauguración del Puente Colgante de Vizcaya tuvo un amplio eco internacional. ■



Liviana transparencia

SOLEDAD BÚRDALO | Fotos: CABALLERO

De atrevido y avanzado diseño, el viaducto de Pino sobre el río Duero ejemplariza como pocos la perfecta conjunción entre creación humana y entorno natural. Con los 120 metros de luz, el arco en celosía, impone en un paisaje duro la liviana transparencia de su elegante silueta metálica.

El viaducto es un ejemplo de conjunción entre creación humana y entorno natural.



En los Arribes del Duero, uno de los parajes más impresionantes de la geografía zamorana, de abrupta y solitaria belleza, se alza una de las obras más audaces y atractivas de la ingeniería española del primer tercio del siglo XX, el famoso viaducto de Pino. Pocas veces se podrá contemplar una muestra tan lograda como ésta de perfecta conjunción entre creación humana y entorno natural. Y es que, en medio de un arriscado paisaje fluvial, recortado por imponentes cañones graníticos, sorprende al observador la liviana y transparente silueta de este elegante puente metálico, que vuela sobre el angosto cauce del Duero, cerca de la frontera de Portugal, a 90 metros de altura. Hoy, a punto de cumplirse el noventa aniversario de su construcción, aún sigue cautivando la delicadeza de su espléndido arco en celosía, que con sus 120 metros de luz fue el mayor de España en su tipología.

La obra se inauguró oficialmente un 15 de septiembre del año 1914. Ese memorable día, tras varios años de infructuosas tentativas, los vecinos de las comarcas zamoranas de Aliste y Sayago, fronterizas con Portugal, vieron finalmente cumplida una de sus aspiraciones más deseadas. La construcción de un puente que terminase con el secular aislamiento de sus territorios, separados por la frontera natural marcada por el Duero y sus profundos cañones, se hacía por fin realidad. Atrás quedaban años de aislamiento, de abandono, de arriesgados cruces del río en barcazas de remos. El progreso llegaba a estas desoladas tierras, y lo hacía de la mano de un puente de atrevido y avanzado diseño, que fue testigo de los avances técnicos de su tiempo.

Pero como suele ocurrir con este tipo de realizaciones, hasta verlas levantadas y ejecutadas pasan muchos años de dificultades, de esfuerzos, de intentos que no siempre culminan con éxito. El primer precedente documentado sobre la necesidad de construir un puente en la zona se remonta al año 1853, cuando el entonces diputado por la provincia de Zamora Mateo Práxedes Sagasta, haciéndose eco de las reivindicaciones de alistanos y sayagueses, encarga su estudio al ingeniero Eduardo López Navarro. Pero las dificultades que entrañaba la obra a causa de su complicado emplazamiento fueron retrasando el proyecto. No será hasta el año 1893 cuando se aborde de nuevo la construcción del puente, vinculada al proyecto de la carretera entre las localidades de Fonfría y Bermillo de Sayago. Su estudio se confía al



entonces joven ingeniero José Eugenio Ribera, que con el tiempo llegaría a ser una de las figuras centrales de la técnica española en los comienzos del siglo XX.

Profesor, autor de numerosos artículos y publicaciones, consumado viajero, fundador de la primera y gran empresa de construcción de obras públicas en España, la legendaria Hidrocivil, en la que iniciaron su andadura profesional ingenieros de la talla de Eduardo Torroja o José Entrecanales. Y por encima de todo, proyectista y constructor de puentes —llegó a realizar más de 500 a lo largo de su fecunda e infatigable trayectoria—, el nombre de José Eugenio Ribera Dutaste (1864-1936) aparece estrechamente vinculado al hormigón armado. Nuestro dinámico y emprendedor ingeniero fue el indiscutible introductor del nuevo material en España y el principal y apasionado divulgador de sus ventajas. Paradójicamente, la que está considerada por los especialistas como una de las mejores obras de este apóstol del hormigón armado, el viaducto de Pino, es una estructura metálica. Un cam-

po, el de las construcciones metálicas, que Ribera frecuentó en los primeros años de su carrera con gran competencia, consagrándose como uno de los más reputados técnicos españoles de finales del siglo XIX.

► VALIOSO TRABAJO

Llaman la atención los concienzudos estudios que realiza Ribera para la redacción del proyecto del viaducto de Pino, elaborado en 1894, y que recoge en su libro *Grandes Viaductos*. Todos los cálculos y planos de las diferentes soluciones analizadas se exponen exhaustivamente en este valioso trabajo publicado en 1897, que constituye un referente imprescindible para conocer la evolución de la técnica de los puentes metálicos en nuestro país. Con gran rigor, Ribera traza y analiza hasta doce alternativas diferentes para el cruce hasta decidirse por la que finalmente se construye. Gran conocedor de las corrientes europeas en ingeniería —que observa de primera mano a través de sus numerosos viajes—, Ribera toma como referencia



Para el viaducto de Pino, Ribera tomó como referencia los grandes puentes metálicos de la época.

los grandes puentes metálicos de la época, adaptándolos a las peculiaridades del emplazamiento sobre el Duero. Los famosos puentes de Garabit sobre el valle de la Thruyère en Francia, y María Pía sobre el río Duero, en Oporto (Portugal), ambos de Eiffel; o los puentes suizos de Javroz y Schwarzwasser, obra del ingeniero Probst, son algunos de los modelos examinados, junto a otras alternativas (gran viga triangulada de vano único, tramo continuo metálico de tres vanos o puente colgante, entre otras soluciones).

Ribera calcula con precisión los costes de cada una de las soluciones estudiadas (cuyos presupuestos oscilaban entre 260.000 y 1.730.000 pesetas), y se decanta por la segunda más económica (la alternativa más barata, un puente colgante, la descarta por los problemas de vibraciones y la escasa duración que entonces presentaba esta tipología), que es la

que finalmente se construye. Se trata de un arco central parabólico de 120 metros de luz, muy rebajado, de canto constante y tablero superior. Forman el arco dos vigas de acero en celosía, unidas por barras dispuestas en un enrejado en forma de N. El arco está articulado en sus extremos, y el tablero metálico, formado por tramos horizontales con luces de entre seis y diez metros, se apoya sobre palizadas ataluzadas de hasta 20 metros de altura. La longitud total del viaducto, que se alza en la carretera local que enlaza la nacional 122 con las localidades de Pino del Oro y Villadepera, es de 180 metros. Esta solución que en el proyecto se denomina “Viaducto metálico de pequeñas luces, sobre arco articulado”, le permitió a Ribera obtener un peso medio de puente de apenas 414 kilogramos por metro lineal, que contrastan con los 6.000 kilogramos que precisaba el de Oporto, o los 9.300 del Garabit. En su libro, Ribera critica estas soluciones del maestro francés, cuya pretendida y alabada ligereza era sólo un ejercicio de apariencia.

► INCREMENTO DE GASTOS

El difícil y delicado montaje de la obra, que comenzó a ejecutarse en 1902, se realizó en voladizo (sistema impuesto por la enorme altura del tablero sobre el río, 90 metros), sin ningún tipo de cimbra de apoyo, estableciendo un puente-grúa en cada una de las márgenes. El tablero y los andenes volados se instalaron una vez finalizada la ejecución del arco. La construcción corrió a cargo de la sociedad Duro-Felguera (adjudicatario en tercera subasta, ya que las dos primeras quedaron desiertas al entrever los constructores las enormes dificultades de montaje), bajo la dirección del ingeniero de minas Domingo G. Regueral.

Como ya se avanzó unas líneas más arriba, la obra se inauguró el 15 de septiembre de 1914, y su coste resultó casi el doble de los presupuestado debido al incremento de los gastos de construcción y montaje (lo que ocasionó graves pérdidas a la compañía constructora, Duro-Felguera). Quizás por ello, Ribera realiza una severa autocrítica —recogida en un artículo de la *Revista de Obras Públicas* publicado pocos días después de la puesta en servicio del nuevo puente— por no haber elegido una solución más ba-

El difícil y delicado montaje se realizó en voladizo, sin cimbra de apoyo

rata. La experiencia acumulada por nuestro ingeniero a lo largo de los casi veinte años transcurridos desde la redacción del proyecto hasta su definitiva ejecución, le hace reconsiderar la decisión adoptada en Pino. Ribera, hombre pragmático y que tenía especialmente en cuenta la vertiente económica en sus proyectos, estima que la solución más adecuada hubiese sido la de un puente convencional más económico de pilas de sillería y vigas rectas metálicas. Y lo argumenta en estos términos: “Ya sé yo que esta solución es de peor aspecto que la del ligerísimo, y hasta si se quiere, elegante, arco que proyecté, pero al considerar que el viaducto de Pino está en una zona alejada de todo turismo, que sólo lo han de ver los vecinos de la región y los encargados de su conservación, se comprende que no merece gran sacrificio la estética de esa obra”. Y con gran honestidad profesional aconseja a sus colegas que antes de lanzarse al “derroche de integrales” que exige un puente de este tipo tengan muy en cuenta los costes. “Nuestra profesión –reflexiona– no es un sacerdocio con dogmas sagrados e impenetrables; es una industria, lo mismo cuando defendemos los intereses de un contratista o de una Compañía, que cuando administramos los presupuestos del Estado, proyectando o dirigiendo para éste las obras que debemos realizar con el menor gasto posible”.

Y es que en Ribera, que mantuvo siempre una relación más bien polémica con la estética, los condicionantes económicos pesan más que la belleza a la hora de ejecutar un proyecto. En su opinión, la apariencia de un puente es un atributo meramente ornamental, accesorio, que debe ocupar un lugar secundario en el proyecto frente a las consideraciones económicas, y cuya búsqueda sólo se justifica si la obra se inserta en la ciudad. “Los arcos de este tipo –argumenta– son muy bonitos, resultan muy ligeros, pero su empleo debe reservarse para emplazamientos frecuentados o en poblaciones”

Ribera también reconoce los errores en el cálculo de costes. La experiencia le dice que a la hora de afrontar el proyecto de un puente metálico no basta encontrar la solución que contenga menor cantidad de hierro o acero, “pues ocurre muchas veces que el coste de la mano de obra aumenta en la misma proporción”. Y abundando en ese ra-



zonamiento, escribe: “He tenido yo, hasta hace algunos años, el vicio de afinar el precio de los hierros y los volúmenes de las fábricas, pero la práctica me va corrigiendo este defecto, pues en muchos casos tengo observado ya que estas economías de material ocasionan una elevación del coste de las unidades que anulan aquéllas”.

Pero más allá de lamentaciones, lo cierto es que el atrevido viaducto de Pino constituye una de las obras más valoradas y recordadas de ese gran ingeniero y hacedor de puentes que fue José Eugenio Ribera, y uno de los más hermosos legados de nuestro patrimonio de obras públicas del siglo pasado. ■

Detalle del arco y el sistema de palizados que soportan el tablero.

VIADUCTO DE PINO

Situación: Entre Pino de Oro y Villadepera (Zamora)

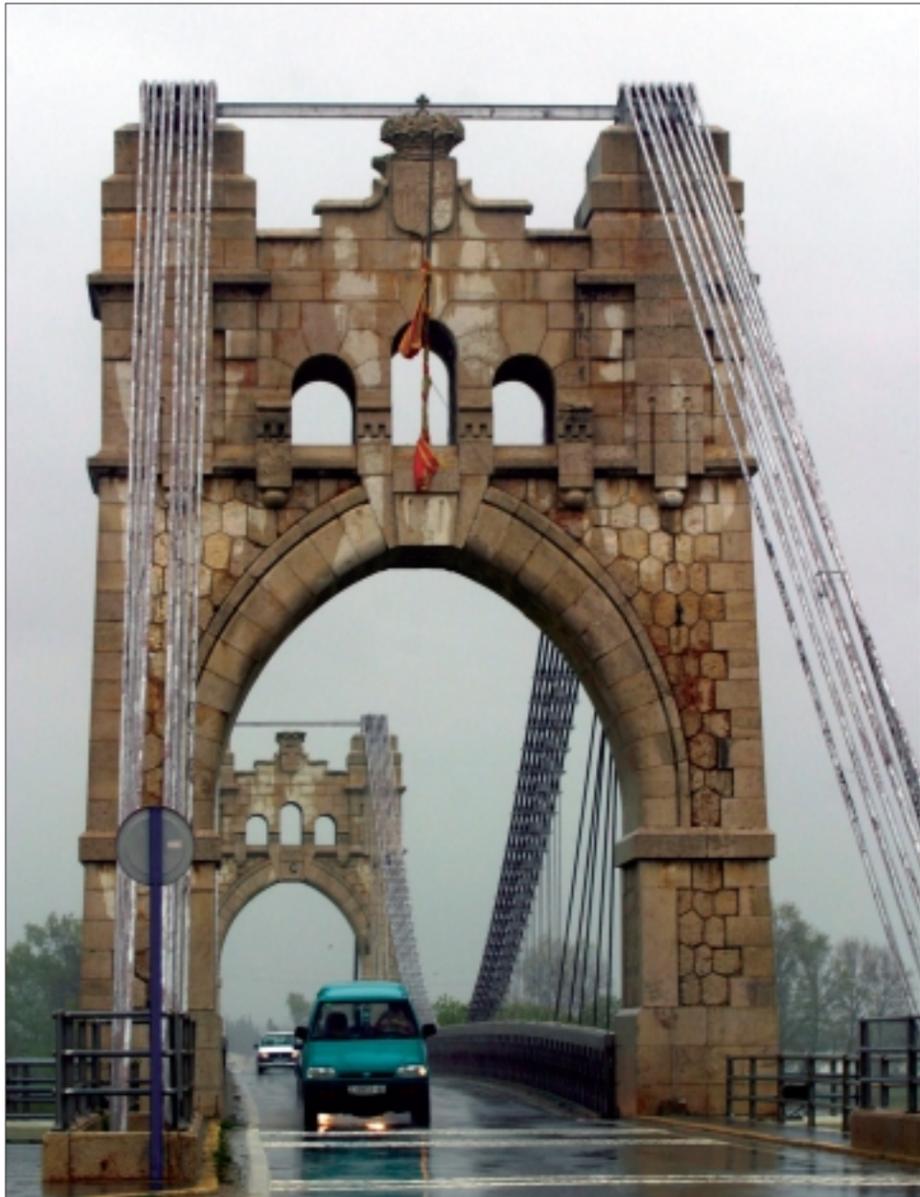
Año de construcción: 1914

Tipología: Puente de celosía metálica con montantes

Longitud total: 192 metros, con un arco central de 120 m. de luz

Anchura del tablero: 6 m.

Autor: José Eugenio Ribera



Las dos pilas-puerta, de corte historicista, y el complejo cableado que sustenta la estructura son las señas de identidad del puente.

Colgado sobre el Ebro

JAVIER R. VENTOSA | FOTOS: CABALLERO

Magnífico ejemplo de los escasísimos puentes colgantes en España, el puente de Amposta sobre el río Ebro (Tarragona) es una de las obras maestras de José Eugenio Ribera en estructuras metálicas. Vistoso y elegante, su singularidad reside en que el autor eligió una tipología constructiva –el puente colgante– y un material –el acero– que estaban en retroceso en Europa a principios del siglo XX.



Desde tiempo inmemorial, la única forma de cruzar el caudaloso río Ebro cerca de su desembocadura era, además de la travesía a nado, utilizando unas barcas de sirga, un método tradicional que a principios del siglo XX se había revelando como excesivamente lento para el creciente tráfico de carros que llegaba con sus mercancías hasta Amposta, una villa tarraconense de gran pujanza económica. En 1914 se planteó el proyecto para construir una nueva carretera que habría de salvar el río para acceder a la ciudad, lo que requería de un puente. El concurso público convocado para su construcción –que daba completa libertad a los autores para elegir la tipología

y el material a emplear– fue adjudicado entre una docena de candidatos a José Eugenio Ribera, audaz y brillante ingeniero, con empresa constructora propia, que ya había acreditado desde finales del siglo anterior una indudable maestría en la ejecución de puentes y viaductos de diversas tipologías por toda la geografía española (María Cristina, Kursaal, Reina Victoria, San Telmo, Pino, Valencia de Don Juan, por nombrar sólo algunos de los más destacados de su producción, que superó los 500 tramos).

Ribera acabada de finalizar la construcción del viaducto de Pino sobre el río Duero, para el que había elaborado una docena de proyectos, entre los



Izquierda, torre de apoyo y detalle del paso de tirantes y cables suspensores por el carro de roldanas. Arriba, vista general del puente sobre el Ebro.

sideración de diversas variables técnicas y estéticas (el terreno, la gran profundidad del cauce del río, la ligereza del montaje de la estructura o la gran vistosidad de este tipo de puentes), le decidieron por la solución más atrevida, la del puente colgante. Y ello pese a no tener experiencia anterior alguna en este sistema constructivo, aunque en su favor hay que decir que sí era un especialista en puentes metálicos, como había demostrado en su etapa como ingeniero del Estado en Asturias. De ahí que estemos ante un ejemplo claro de puente de autor, de pieza única e irrepetible.

► **CÓMO MEJORAR LA RIGIDEZ**

El proyecto original consistía en un puente atirantado-suspendido que salta con limpieza y maestría sobre el río Ebro sin siquiera rozarlo, disponiendo las dos pilas en los bordes mismos del agua, separadas entre sí 135 metros. El sistema de ejecución propuesto por el autor, como el de la mayoría de los puentes colgantes, partía de la construcción de dos torres-pila en cada extremo, de 24 metros de altura, para continuar con el montaje de pasarelas para tender los diferentes tipos de cables de acero que sustentan la estructura y, finalmente, la colocación del tablero mediante voladizos sucesivos. Las obras, llevadas a cabo por la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, del propio Ribera, y por la sociedad Alambres, Cables y Transportes Aéreos, encargada de la parte metálica, comenzaron en 1915.

El proyectista estaba especialmente preocupado por la seguridad y la falta de rigidez del sistema de suspensión, que es el verdadero caballo de batalla

que figuraba el del puente colgante, con el acero como material principal. Ésta era, indudablemente, la solución más económica y también una de las más adecuadas para cubrir luces muy grandes, como requería el ancho Ebro en sus kilómetros finales. En contra de esta opción, sin embargo, destacaba que la tipología estructural colgante había sido prácticamente proscrita en Europa en el siglo XIX a raíz de diversas catástrofes, aunque comenzaba a emerger de nuevo en Francia de la mano de Ferdinand Arnodin y estaba en pleno desarrollo en Estados Unidos. Además, las construcciones metálicas estaban en desuso a principios del siglo XX ante el auge imparable del hormigón armado, un revolucionario material constructivo que el propio Ribera introdujo en nuestro país y que difundió con pasión hasta convertirse en el verdadero iniciador de la escuela española del hormigón.

Finalmente, su mentalidad de ingeniero-gestor, tan preocupado por la obra como por su coste económico, y probablemente su ego de creador genial que no teme ir a contracorriente, así como la con-

en estos puentes. De ahí que acudiera a las experiencias ya probadas por el ingeniero norteamericano John Roebling (autor de los puentes de Brooklyn y de las cataratas del Niágara, en Estados Unidos) y el francés Arnodin (proyectista y constructor de los puentes colgantes y transbordadores de Bilbao, Bicerta y Burdeos, entre otros), que habían introducido importantes modificaciones técnicas en sus puentes destinadas a favorecer la rigidez de los tableros.

Del primero retomó el perfeccionamiento en la construcción de cables y, especialmente, una novedosa disposición de tirantes oblicuos en las partes inmediatas a las torres de apoyo, que se unía al efecto suspensor del cable portante sobre toda la estructura. Con esta disposición, los dos tramos finales del tablero –de 24 metros de longitud cada uno– están sostenidos por seis tirantes por cada lado, con un amarre directo y más rígido, mientras que la parte central –de 86 metros de largo– está sustentada por péndolas colgadas del cable portante. De Arnodin extrajo como enseñanza la adopción de un forjado de hormigón armado para el tablero, cuya anchura es de 4,50 metros para la calzada y de 1,50 metros para los dos andenes o paseos. Ribera aportó también sus propias novedades, como la instalación de vigas armadas articuladas a modo de barandillas. Todas estas mejoras en el sistema de suspensión aumentaron sensiblemente la rigidez de la obra, favo-

reciendo la resistencia a las cargas móviles de entonces, consistentes fundamentalmente en carros, caballerías y peatones.

► **CIMENTACIÓN CON RÉCORD**

El paralelismo con el puente de Brooklyn, además del puramente estético, también vino dado por el sistema de cimentación. Mientras que para la margen derecha del Ebro las características del terreno permitieron proyectar los cimientos en la pared rocosa, para la margen izquierda los sondeos hallaron arenas legamosas, muy inestables, y la primera capa de grava compacta a una profundidad de 30 metros, de forma similar a lo que ocurrió con el puente neoyorquino. Por ello, el ingeniero español tuvo que idear un sistema que dispusiera el cimiento de tal forma que el terreno en que se apoya resistiera el peso de la obra y, al mismo tiempo, dejara su base a cubierto de eventuales socavaciones.

Ribera adaptó para el puente de Amposta las mejoras introducidas por Roebling y Arnodin en sus estructuras colgantes

Por ello propuso y ejecutó la hinca, por el procedimiento de aire comprimido, de un cajón rectangular de hormigón armado, más resistente que las artesas de madera que Roebling empleó en el puente de Brooklyn, donde se alcanzaron 24 metros de profundidad. Este sistema había sido introducido por el propio Ribera en España y empleado con éxito en el puente de Valencia de Don Juan

sobre el río Esla y en la construcción del dique seco de La Carraca, en Cádiz. La hinca de ese cajón a 30 metros de profundidad, que los expertos han calificado de "heroica", constituyó un récord mundial que se mantuvo durante décadas.

Una vez solucionada la cimentación, proyectó sobre ambas pilas las dos torres de apoyo, sobre las que se encuentra el carro de roldanas que apoya los cables suspensores. A

estas torres, según escribió el propio proyectista y constructor en la *Revista de Obras Públicas*, "había que darles el mayor grado posible de belleza, dado que la obra se encuentra a la entrada de un pueblo con gran porvenir y que la villa donó más de 200.000 pesetas a la construcción de la obra". El ingeniero que se había distinguido por su afán decorativo y barroco en tantos puentes urbanos de su firma demostró en la obra de Amposta su amor a los decorados historicistas, a la manera de los puentes alemanes que le inspiraron. Sin escatimar esfuerzos para realizar la obra, compuso ambas torres, construidas con sillería y mampostería, como pórticos organizados alrededor de una gran puerta ligeramente ojival, sobre la que se esculpieron los escudos de España y de Amposta. Era la guinda definitiva para una obra de la que el autor, en el balance final de su trayectoria profesional, se declarararía orgulloso.

► SÍMBOLO DE LA CIUDAD

Desde su inauguración en 1921, el puente de Amposta, que a su evidente singularidad arquitectónica suma una función urbanística estructurante como puerta de entrada a la ciudad por su casco antiguo, ha otorgado a la villa catalana una personalidad de la que carecía por completo antes de su construcción. De hecho, el *pont penjant* (puente colgado en catalán) fue desde su construcción, y todavía sigue siéndolo, el símbolo principal de la arquitectura de la ciudad.

Parcialmente reconstruido tras ser dañado en 1938 por los bombardeos durante la Guerra Civil, en los



Cables suspensores y la pasarela instalada en la posguerra, con Amposta recortada al fondo.

años sesenta del siglo pasado fue retocado para adecuarlo a las condiciones del tráfico de entonces. En esa ocasión se cambiaron los cables de suspensión, se le añadieron verdaderas vigas de rigidez en celosía y sendas aceras laterales por el exterior de ellas, con lo que se extendió su vida operativa. Con la construcción en 1966 de un nuevo puente sobre el Ebro aguas abajo del colgante y de la nueva Autopista del Mediterráneo, las posibilidades de cruzar el mayor río español por su desembocadura han aumentado de forma considerable, y el puente de Amposta ha pasado a tener una función más secundaria. No obstante, la obra de Ribera, espectacular, ligera y realizada de noche por una nueva iluminación instalada en 1997, permanece todavía en uso –salvo para los vehículos de más de 10 toneladas– como expresión de la obra civil bien ejecutada y de la maestría de uno de los grandes ingenieros españoles del siglo XX. ■

PUENTE DE AMPOSTA

Situación: Sobre el río Ebro, en la entrada a la ciudad de Amposta (Tarragona)

Año de construcción: 1915-1921

Tipología: Colgante atirantado

Anchura del tablero: 6 m.

Luz libre: 135 m.

Autor: José Eugenio Ribera



Sobria elegancia

SOLEDAD BÚRDALO | FOTOS: CABALLERO

En un lugar rocoso, de difícil acceso y gran belleza, se levanta el viaducto de Martín Gil, magna obra de la ingeniería civil española, que con sus 210 metros de luz sobrevuela con elegancia las aguas embalsadas del Esla, permitiendo el paso del ferrocarril.

En la historia de la ingeniería civil española del siglo XX, el viaducto de Martín Gil, sobre el río Esla, entre Zamora y Puebla de Sanabria, ocupa un lugar preeminente. Pocas obras concitan tantos elogios y admiración como este soberbio puente de ferrocarril, que vuela sobre las aguas embalsadas del Esla con un portentoso arco de hormigón de 210 metros de luz, que en su tiempo, 1942, fue récord del mundo. Las innovaciones técnicas aplicadas en su construcción junto a un riguroso e impecable proceso de ejecución hicieron posible la culminación de este hito de la técnica, que situó la ingeniería española a la vanguardia

Las innovaciones técnicas aplicadas en la construcción del viaducto situaron a la ingeniería española en la vanguardia mundial.

mundial en puentes de hormigón armado. En su libro *El puente moderno en España: 1850-1950*, el estudioso de la obra pública e ingeniero José Ramón Navarro Vera lo define como “un compendio de lo más innovador de la ingeniería de puentes durante las tres primeras décadas del siglo XX” y como “un triunfo de la tradición constructiva de la ingeniería civil gracias a los avances en el conocimiento estructural del hormigón, pero fueron los métodos y las técnicas constructivas puestas en práctica los que lo hicieron posible”. Y agrega “en el proyecto y obra del Esla se aplican lo mejor de los saberes teóricos y prácticos de la ingeniería de puentes en bóveda de hormigón”.

Como suele ocurrir con las grandes creaciones ingenieriles, el viaducto de Martín Gil es una obra de autoría colectiva, en cuyo diseño y construcción participaron los ingenieros Francisco Martín Gil, Francisco Castellón, César Villalba, Antonio Salazar, y Eduardo Torroja, quienes suplieron con un plus de talento y audacia la penuria de medios y materiales de aquella arruinada España de posguerra.

► CONDICIONANTE IMPREVISTO

Los antecedentes de la obra se vinculan al primitivo proyecto de la línea de ferrocarril de Zamora a La Coruña, redactado en 1875. La propuesta contemplaba el cruce del río Esla mediante un puente de tramos metálicos, similar a otras soluciones entonces en boga para puentes de ferrocarril. Pero ni ésta ni otras tantas soluciones que se fueron formulando con posterioridad llegaron a cuajar. Habrá que esperar al año 1929 para que, una vez aprobada definitivamente la línea férrea, se retomara de nuevo el asunto.

Para entonces ya estaba en marcha la construcción del gigantesco embalse de Ricobayo, en el Esla, un nuevo condicionante no previsto en los anteriores proyectos y que complicaba extraordinariamente las cosas. La presencia de la nueva infraestructura hidráulica obligaba a dos posibles alternativas: o rodear el embalse, lo que implicaba aumentar en 60 kilómetros el recorrido de la línea, opción que fue descartada; o bien salvar el enor-



resolvían de forma satisfactoria los problemas de cimentación en los tramos del embalse que, estando lleno, alcanza unos calados de 44 metros. Por ello, y a la vista de la complejidad técnica de la obra, la Jefatura de Puentes, responsable de informar sobre la misma, encargó a dos de sus ingenieros, César Villalba y Francisco Martín Gil, la redacción de un informe que, en un principio, debía basarse en el trabajo realizado por Pérez Moreno. Sin embargo, los dos técnicos ofrecieron una propuesta radicalmente distinta, sumamente audaz, en la que ya aparecía un gran arco de 200 metros de luz y 60 metros de flecha. Y todo ello a un coste más competitivo que cualquiera de las soluciones contempladas, lo que llevó a su aceptación.

El proyecto definitivo, aprobado en 1932, corrió a cargo del ingeniero Francisco Martín Gil, quien, lamentablemente, no pudo ver el inicio de las obras debido a su temprano fallecimiento. En su memoria, el Ministerio de Obras Públicas dispuso una orden para que el viaducto llevara el nombre de su proyectista, en atención a sus “méritos extraordinarios” y su “notable proyecto de viaducto sobre el embalse el río Esla.

► **ARMADURA RÍGIDA**

Las obras comenzaron en octubre de 1934, bajo la inspección de Francisco Castellón, como ingeniero jefe, y Alfonso Peña Boeuf, César Villalba, y Antonio Salazar, como ingenieros colaboradores. El nombramiento de Alfonso Peña como ministro de Obras Públicas propició la incorporación al proyecto de una de las personalidades más influyentes y de mayor prestigio internacional de la ingeniería española: Eduardo Torroja Miret, cuyas aportaciones serían determinantes para el logro de esta obra puntera de nuestra cultura técnica.

La Guerra Civil marcó un parón de todo el proceso, que no se retomaría hasta pasada la contienda. Hasta ese momento se habían realizado los salmeres (arranques del arco) y parte de los viaductos de acceso, además de la cimbra de madera que habría de servir como soporte para materializar la gran bóveda central. Cabe recordar que ese era el procedimiento habitual para la construcción de grandes arcos de hormigón. Así se construyó, por citar un ejemplo emblemático, el fa-

La aportación de Eduardo Torroja resultó decisiva en la conclusión con éxito de la arriesgada obra

me reservorio con un puente de grandes dimensiones.

El punto de partida fueron los dos proyectos presentados por la jefatura de Estudios y Construcciones de Ferrocarriles, redactados por los ingenieros Antonio Salazar y Alberto Pérez Moreno, respectivamente. El primero consistía en una serie de arcos de medio punto de 20 metros de luz cada uno, como viaductos de acceso (siete en la margen derecha y cuatro en la izquierda), enlazados sobre la zona del embalse con otros ocho, apoyados éstos, cada dos, en tres elevadas pilas.

La propuesta de Pérez Moreno, por su parte, comprendía tres arcos de avenida en la margen izquierda y cinco en la derecha, todos iguales, de medio punto y 15 metros de luz, que enmarcan un grupo de cuatro arcos de hormigón de 60 metros entre apoyos, con elevadas pilas de 60 metros de altura.

En ambos casos eran soluciones de corte conservador, que no



Izquierda, detalle de un viaducto de acceso. Arriba, pilares de apoyo sobre el gran arco central.

moso puente de Plougastel, obra de 1931 del genial Eugene Freyssinet, que se alza sobre el río Lorn, cerca de la ciudad de Brest, en Bretaña (Francia). Sus tres arcos, de 186 metros de luz cada uno, los mayores del mundo en su tiempo, se construyeron con la ayuda de una gigantesca cimbra de madera de 170 metros de luz, que se desplazaba por flotación de un arco a otro.

Sin embargo, tras la reanudación de las obras en 1939 se descartó ese procedimiento constructivo, debido al grave deterioro de la cimbra de madera, cuya delicada y frágil estructura no pudo resistir los rigores climáticos a los que estuvo expuesta durante más de tres años. A la vista de ello, se decidió estudiar el sistema más adecuado para ejecutar el tramo principal de la forma más rápida y segura, sin variar la configuración del gran arco ideado por Martín Gil.

La solución definitiva propuesta por Torroja, y clave del éxito de la construcción, consistió en una ligera cercha metálica —el acero era un bien escaso y caro en esos duros años de posguerra—, que al mismo tiempo que servía de encofrado del arco,

una vez hormigonado éste, se convertía en la armadura del mismo. Así pues, esta especie de “armadura rígida” cumplía con una doble misión: además de servir de cimbra, aportaba su propia resistencia al hormigón del arco en el que quedaba embebido.

El método no era nuevo. Ideado a finales del siglo XIX por el ingeniero austriaco Joseph Melan, en España su desarrollo y puesta a punto vino de la mano de José Eugenio Ribera, una de las figuras señeras de nuestra ingeniería y maestro del propio Torroja en la Escuela de Caminos. Pero nunca hasta entonces se había utilizado a esta escala, lo que obligó a nuevos cálculos estructurales dadas sus diferencias en relación al proyecto inicial.

Formaban la cercha metálica dos cuchillos paralelos (con las cabezas superiores e inferiores compuestas por perfiles en I, unidos por una celosía triangulada) arriostrados entre sí con montantes y cruces de san Andrés. Su estabilidad transversal a efectos del viento quedaba asegurada mediante un sistema de cables de amarre anclados en las rocas de las laderas y en dos puntos fijos de la cercha.

Una vez realizado el montaje de la “autocimbra” (ejecutado por módulos), se procedió a un preciso y laborioso proceso de hormigonado por fases (por cordones o capas longitudinales cada vez de mayor espesor), de forma que las primeras colaboraban con la armadura para soportar las siguientes. Se comenzó envolviendo las cabezas superiores de los cuchillos. Una vez hormigonados estos dos cordones superiores, el arco trabajaba como una estructura mixta hormigón-acero. A continuación se procedió de forma análoga con las cabezas inferiores. De esta forma se fue reforzando la cimbra metálica, muy débil inicialmente, hasta alcanzar la resistencia necesaria para hormigonar la sección completa del arco. Además, el hormigonado de cada cordón se organizó a su vez por dovelas (con una longitud apropiada para poder ser hormigonada de una única operación) y según orden preestablecido, con el fin de reducir al mínimo el peligro de pandeo de la cimbra.

La aplicación de este minucioso procedimiento, abordado por Torroja desde el máximo rigor ingenieril de economía, permitió un importante ahorro de acero en la autocimbra, además de imprimir un ritmo acelerado a las obras.

► CONDICIONES ADVERSAS

El viaducto se inauguró en 1943, aunque hubo que esperar hasta casi diez años después para poder contemplar el paso del primer tren. El tramo de ferrocarril que determinó su construcción, Zamora-Puebla de Sanabria, no entró en servicio hasta el año 1952.

Atrás quedaban varios años de trabajo duro, realizado en condiciones atmosféricas extremadamente severas, en un lugar rocoso de gran espectacularidad y belleza pero aislado y de difícil acceso para llevar el material de obra, que dificultaron extraordinariamente las labores de construcción de esta elegante y sobria pieza ingenieril. Para llevar a cabo la delicada operación de hormigonado del gran arco central (realizada durante el crudo invierno de 1940-1941, en el que las temperaturas máximas no llegaron nunca a superar los dos grados), fue necesario emplear calentadores eléctricos de mil vatios en la hormigonera y la protección de la zona de trabajo con otros calentadores, gracias a los cuales se pudo mantener la temperatura en su interior entre ocho y diez grados.

Además de las bajas temperaturas, el fuerte viento que con frecuencia azotaba la zona fue otro de los inconvenientes al que hubo que hacer frente. En un artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*, los ingenieros de la obra recuerdan el terrible huracán que se desató en la madrugada del 15 al 16 de febrero de 1941, con ráfagas de hasta 180 kilómetros por hora, que se llevó por delante todo cuanto encontró a su paso. “Ningún albergue ni vivienda quedó con techumbre; derribó totalmente la carpintería y la casi totalidad de la línea eléctrica; arrancó corpulentas encinas milenarias de las cercanías; lanzó tablones atados y apilados encima del tramo, a más de 500 metros aguas arriba, presentando el personal que allí vivía una cara de angustia y desolación sólo comparable al ciclón que soportaron”. A pesar de la potencia destructora del huracán, que como hemos visto devastó por completo las instalaciones, “ni el eje del arco, ni su directriz sufrieron lo más mínimo, siendo su situación, cuando el viento cesó, completamente normal”. Afortuna-



damente, días antes se habían tensado y arriostado los cables de sujeción de botón de amarre, gracias a lo cual no se registró la más mínima anomalía en el arco. ■

VIADUCTO DE MARTÍN GIL

Situación: Entre las localidades de Manzanal del Barco y Palacios del Pan, en el kilómetro 23,040 del ferrocarril Zamora-A Coruña

Año de construcción: 1942

Tipología: Puente de arco parabólico de hormigón con montantes

Longitud total: 480 metros, distribuidos en un arco central de 209,84 metros de luz teórica (192,40 metros de luz real en la coronación de cimientos) y una flecha de 60,018 metros con una altura de clave de 110 metros sobre el fondo del embalse; y dos viaductos de acceso constituidos por cinco arcos de medio punto, de 22 metros de luz y dos tramos rectos de 7,60 metros (lado de Zamora); y de tres arcos, también de 22 metros, con otros dos tramos de 7,60 metros para el viaducto de salida.

Autores: Francisco Martín Gil, Francisco Castellón, César Villalba, Antonio Salazar, Eduardo Torroja



Revolución constructiva

JAVIER R. VENTOSA | FOTOS: CABALLERO Y OFICINA DE PROYECTOS DE CARLOS FERNÁNDEZ CASADO S.A.

La revolucionaria técnica del hormigón pretensado permitió la construcción de puentes más resistentes y llevó aparejada un nuevo procedimiento constructivo, el avance en voladizo mediante dovelas prefabricadas, que acabó imponiéndose para los puentes viga. Estas innovaciones fueron adoptadas en España por Carlos Fernández Casado, cuya oficina de proyectos diseñó en los años 60 del siglo pasado un puente, el de Castejón (Navarra), con una luz, entonces impresionante y un tanto mítica en nuestro país, de 101 metros.

Sobre estas líneas, vista lateral del tramo principal (izquierda) y aérea del puente de Castejón (derecha). Arriba, transporte de una dovela mediante andarivel a uno de los extremos del voladizo en construcción.

La construcción por voladizos sucesivos mediante dovelas prefabricadas es el procedimiento más empleado a la hora de levantar puentes viga de hormigón pretensado, sobre todo si son de grandes luces. Esta técnica, consistente en construir sucesivamente las dovelas, avanzando en voladizo sobre las ya construidas, requiere de medios de instalación muy potentes, pero permite una mayor industrialización de la obra y un montaje más rápido que otros sistemas. Con el *boom* del hormigón pretensado, esta nueva técnica fue puesta en práctica por primera vez en la antigua Unión Soviética en 1961 (puente Kranoholmski sobre el río Moscova), aunque fue la empresa francesa Campenon Bernard la que universalizó esta tecnología

a partir del año siguiente (puente de Choisy le Roi sobre el Sena) como alternativa a la construcción *in situ* mediante carro de avance (cimbra), ideada algunos años antes por los ingenieros alemanes.

En España, la nueva técnica fue introducida por Carlos Fernández Casado, figura señera de la ingeniería de puentes y de las grandes estructuras en la época de la posguerra, profesor de Puentes en la Escuela de Caminos y fundador de una moderna oficina de proyectos. Fernández Casado se había sumado a la explosión del hormigón pretensado cuando ya había superado la cincuentena, una edad difícil para empezar con un material nuevo, pero con la revolucionaria aportación de Eugene Freyssinet construyó algunas de sus mejores obras, in-



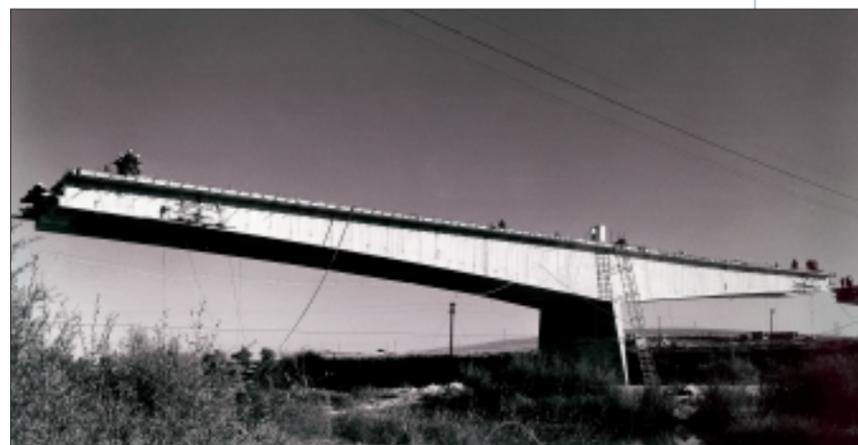
augurando en nuestro país la técnica de los voladizos mediante dovelas prefabricadas. En 1960 ganó un concurso internacional para construir en Cuba un puente por medio de este sistema y en 1962 lo experimentó en el puente de Almodóvar del Río sobre el Guadalquivir, en Córdoba. Se trata de un puente con una luz principal de 70 metros en el que probó con éxito la nueva técnica, con dovelas inferiores a 10 toneladas de peso y medios de montaje y colocación muy ligeros.

En su siguiente trabajo, el puente de Castejón sobre el río Ebro, al sur de Navarra, destinado a permitir una comunicación fluida norte-sur desde Pamplona hasta el centro de la Península, perfeccionará el nuevo procedimiento constructivo. La obra fue encargada a su recién creada oficina de proyectos por Félix Huarte, presidente de la Diputación Foral y que lo fue de la constructora Huarte y Cia –asociada a la oficina de proyectos y con la que Fernández Casado trabajaba desde antes de la guerra, construyendo, entre otros, el puente de Almodóvar del Río–. La construcción fue adjudicada a la empresa Agromán y financiada por el municipio de Castejón, que obtuvo una concesión de peaje destinada a realizar trabajos de mantenimiento.

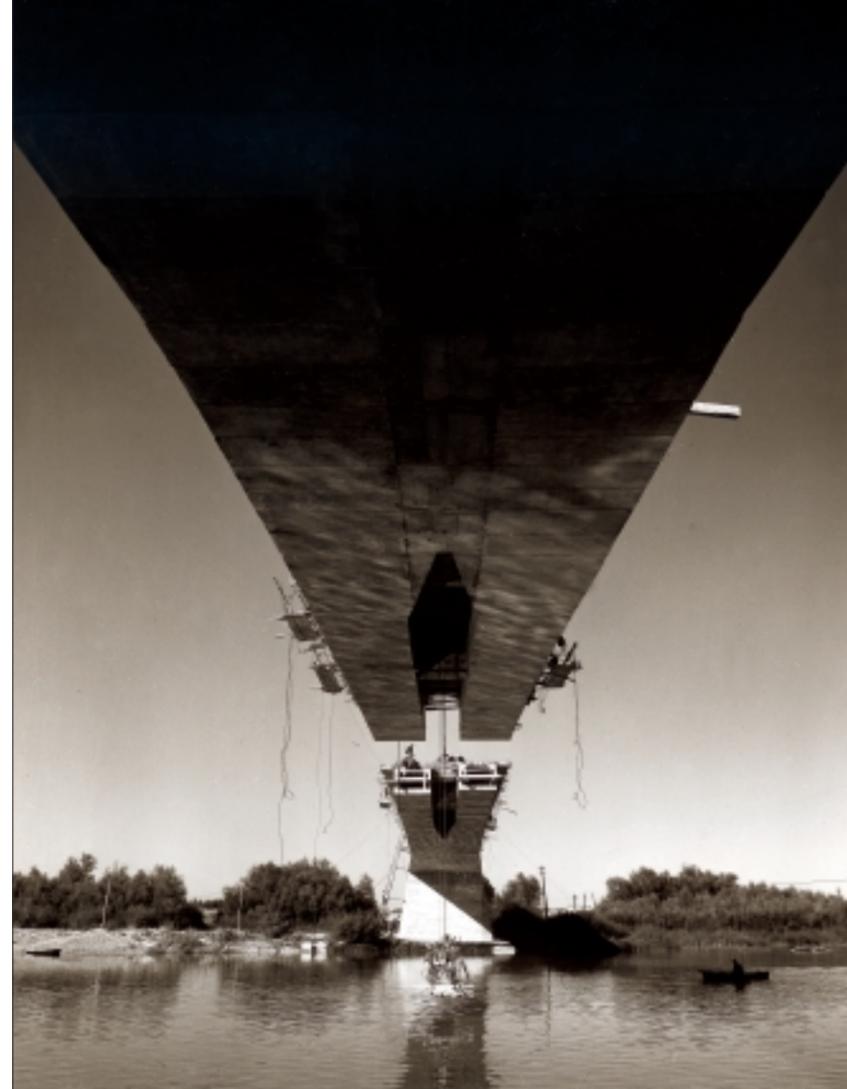
► ESTRUCTURA DEL PUENTE

Atendiendo a la morfología del terreno y al cauce del río, el equipo de ingenieros de la oficina de proyectos (Carlos Fernández Casado, Javier Manterola Armisen y Leonardo Fernández Troyano) pro-

yectó un puente de 252 metros de longitud y 10,5 metros de anchura, con doble sentido de circulación, dividido en una obra principal y otra complementaria. La obra principal consta de tres vanos: uno de 25 metros, para salvar el escarpe; el segundo de 101 metros (una luz mítica en aquellos tiempos), para cruzar el cauce normal; y el tercero de 50 metros, correspondiente al cauce secundario del río. Los tres tramos de la obra principal se organizaron estructuralmente en dos elementos en forma de T –uno simétrico y otro asimétrico–, característicos de la construcción por voladizos sucesivos. La obra complementaria, correspondiente al tramo de avenidas periódicas, es un viaducto formado por tres vanos (28, 28 y 21 metros de luz) que se articulan desde la ribera izquierda hasta el extremo del voladizo de la parte principal del puente.



Arriba, vista de la luz principal del puente, de 101 metros. Debajo, uno de los dos elementos en T durante la construcción de sus dos voladizos.



Vista inferior de la última fase constructiva del tramo principal.

Para la cubierta del puente se adoptó la sección de dos trabes (vigas maestras) rectangulares, una por carril, de 2.45 m de ancho, alineadas paralelamente, enlazadas por la losa superior que forma el tablero y por otra inferior. También se colocaron trabes diagonales para rigidizar. Las pilas del puente, por su parte, son diferentes en cada una de las dos obras, tanto en su estructura como en su cimentación. Las dos principales, que son solidarias con el tablero para formar los dos elementos en T, tienen forma trapezoidal, con muros de un metro de espesor, construyéndose la principal sobre el conglomerado rocoso y la segunda sobre pilotes de 15 metros de longitud. Las complementarias, por su parte, son parejas de columnas circulares de 1 metro de diámetro y también se construyeron sobre pilotes.

Para el pretensado del hormigón se empleó el sistema Freyssinet, con la introducción y el an-

claje en los tramos prefabricados, nada más ser colocados, de tendones o cables de doce alambres de 7 milímetros de diámetro, con un máximo de 112 unidades activas por dovela. El pretensado, como es sabido, contrarresta las fuerzas que van a actuar sobre el puente con unas contra-acciones previas que las anulan o reducen, evitando la fisuración del hormigón y, en definitiva, aumentando la rigidez, la estabilidad y la capacidad del puente para soportar cargas.

► EL PROCESO CONSTRUCTIVO

El procedimiento de construcción estaba ya previsto desde la etapa de proyecto. El equipo de ingenieros decidió construir mediante voladizos sucesivos a partir de las pilas el tramo principal de 101 metros y el vano siguiente de 50 metros; para el primer tramo que se inicia desde la ribera derecha se pensó siempre en ejecutarlo mediante el colado *in situ*.

Para la construcción en voladizos sucesivos se partió de la experiencia del puente de Almodóvar del Río, realizado mediante la colocación en obra de tramos de dovelas prefabricadas de peso reducido, manejables mediante un andarivel (especie de cajón sujeto por argollas que se desliza por un cable suspendido). Las dovelas fueron prefabricadas en planta, una al lado de la otra en la misma posición que tendrían en la estructura definitiva, para su posterior encaje. Luego fueron fabricadas alternativamente dentro de un molde con la longitud de un voladizo, sobre una explanada de hormigón, situada en la margen derecha del río, que constituyó la cimbra para la parte inferior de las dovelas. Los seis voladizos correspondientes a la cubierta del puente fueron totalmente prefabricados en la orilla.

El avance en voladizo mediante dovelas prefabricadas está asociado a la técnica del hormigón pretensado

Trasladar las dovelas, de algo menos de 10 toneladas de peso, hasta los seis voladizos desde los que la construcción progresó simultáneamente fue posible gracias a un sistema de potentes grúas en portal, semejante a un funicular. Antes de su traslado, la superficie de las dovelas a izar era pulida, terminada con un chorro de arena y recubierta con una capa de resina, operación que se repetía en la superficie de

contacto de la dovela ya colocada en la extremidad del voladizo que iba a alargarse con la nueva dovela. A continuación se procedía a colocarla, apoyándose en una pestaña sobresaliente de la dovela anterior, a sellarla y a tesar las unidades de pretensado correspondientes. Todo este proceso siguió los pasos dados en el puente de Almodóvar del Río,

salvo en el pegado de dovelas, realizado mediante resina epóxica en vez de por juntas húmedas de hormigón, lo que ahorró tiempo para proceder al tesado de la armadura.

A un ritmo de dos secciones por día en cada uno de los seis voladizos, las dos estructuras en T del tramo principal progresaron con rapidez hasta su unión definitiva, que se llevó a cabo colando *in situ* las dos últimas secciones de los extremos. La parte complementaria del puente, por su parte, se llevó a cabo mediante el procedimiento de colado *in situ*, ejecutado con cimbra deslizante. Las operaciones constructivas se sustentaron en un cálculo estructural realizado por ordenador que tomó en consideración todas las tensiones y esfuerzos a que estaría sometida la estructura, cálculo que permitió una solución constructiva que ha permanecido sólida y prácticamente inalterable hasta nuestros días.

► TRES PUENTES MÁS

La obra del puente de Castejón concluyó con éxito en 1968, pero la oficina de proyectos de Carlos Fernández Casado continuó utilizando la construcción por voladizos sucesivos mediante dovelas prefabricadas en sus siguientes encargos de hormigón pretensado. Ese mismo año construyó el viaducto de Iznajar sobre el río Genil, en Córdoba, de 415 metros de longitud distribuidos en diez vanos. Luego seguirían el puente sobre la dársena del Guadalquivir, en Sevilla, de 142 metros divididos en cinco vanos, y el de Los Vados (1969-71), de 124 metros.

Este último puente puso fin a una etapa de once



años en la carrera de Fernández Casado, que interrumpió el método constructivo –luego retomado con éxito por Ferrovial– por dos razones: la primera, que el sistema no estaba asociado a una sola constructora (en los cinco puentes intervinieron cuatro empresas), algo necesario para asegurar su éxito comercial; y la segunda, que para alcanzar la rentabilidad del sistema se necesitaban construir muchos puentes similares o uno muy grande que garantizara la inversión, lo que tampoco se cumplía. Esta interrupción, sin embargo, no hizo mella en la trayectoria de nuestro personaje, que a partir de entonces desarrolló el grueso de su obra, proyectando y construyendo puentes de diferentes tipos por toda la geografía española, en una labor continuada hasta nuestros días por la oficina de proyectos que lleva su nombre. ■

El puente de Castejón fue el segundo de una serie de puentes de hormigón pretensado construida en España en los años 60 del siglo pasado.

PUENTE DE CASTEJÓN

Situación: En la carretera N-113 sobre el río Ebro, cerca de Castejón (sur de Navarra).

Año de construcción: 1966-68

Tipología: Puente viga

Longitud total: 252 m.

Luz principal: 101 m.

Autores: Carlos Fernández Casado, Javier Manterola Armisen y Leonardo Fernández Troyano.



Volando el mar

JOSÉ I. RODRÍGUEZ | Fotos: M. D. CORDERO

La inauguración del puente de Rande, en el año 1981, coincidió con la del tramo Pontevedra Sur-Vigo de la autopista AP-9, que acorta en unos 24 kilómetros la distancia entre esta última población gallega y las situadas en la orilla norte de la ría. Más de 47.000 vehículos cruzan a diario este esbelto puente atirantado cuyo tramo central tiene una longitud de 695 metros, una luz de 400 metros y dos laterales de 147 metros. Las pilas centrales, que se elevan a 128 metros de altura, sujetan el tablero metálico mediante dos planos oblicuos de cables en abanico cada una.



El puente se alza en el impresionante paisaje del estrecho de Rande, en la ría viguesa.

La Autopista del Atlántico, principal eje de comunicación norte-sur de Galicia, salva la ría de Vigo mediante el puente de Rande, ubicado en el estrecho del mismo nombre, con una anchura de 700 m. La construcción de esta infraestructura se efectuó entre el mes de enero de 1974 y el de noviembre de 1977, realizándose durante 1978 distintas pruebas de carga en la obra. Sin embargo, no entraría en funcionamiento hasta 1981, cuando se inauguró el tramo Pontevedra Sur-Vigo de la autopista AP-9.

Precisamente, la autopista es la alternativa a la N-550, que pasa por Redondela, y acorta en unos 24 kilómetros la distancia entre la ciudad de Vigo y las poblaciones situadas en la orilla norte de la ría, en la península del Morrazo. Y esto, gracias al puente, que discurre por un paraje de excepcional belleza y registra una intensidad media diaria de 47.000 vehículos.

El autor del proyecto de esta singular infraestructura fue el ingeniero Florencio del Pozo Frutos, con el asesoramiento de los profesores Fabricio de Miranda y Alfredo Passaro. Se trata de un puente para cuatro circulaciones, de tipo atirantado, en el que existen dos partes claramente diferenciadas: el tramo central y los viaductos de acceso Norte y Sur. El tramo central tiene una longitud total de 694'98 metros, con una luz central de 400'14 metros y dos laterales de 147'72 metros. El tablero es metálico, con una anchura total de 23'46 metros, un canto máximo de 2'46 metros y el peso total de acero estructural empleado en su construcción es de 6.000 toneladas.

El tablero está formado por dos vigas de borde que reciben los anclajes de los cables. La altura de estas vigas es de 1'20 metros. Su sección es cerrada en forma triangular, con el fin de presentar un frente adecuado para la estabilidad aerodinámica del conjunto. En la parte central se disponen otras



dos vigas cuya sección es una doble T, separadas entre sí a la distancia de 10'10 metros y 5'05 metros de las vigas de borde. El alma de las vigas tiene una altura de 2'20 metros. Las cuatro vigas están conectadas transversalmente cada 21'06 metros en el punto de anclaje de los cables, mediante diagramas de sección en doble T, lo que obliga a una colaboración conjunta de las mismas.

La plataforma, de 23'46 metros de ancho total, se materializa por medio de una chapa rigidizada que apoya sobre cerchas transversales separadas 3'51 metros entre ejes. Esta plataforma es del tipo ortótropo, con losa de hormigón armado de 8 cm., unida por conectadores soldados al elemento metálico y con 70 mm. de pavimento asfáltico.

► **SUSPENDIDO A 50 METROS SOBRE EL MAR**

El puente está suspendido de cables rectos anclados en las cabezas de dos pilas y en los bordes del tablero, que se encuentra a más de 50 metros sobre el nivel del mar. Los 80 tirantes de suspensión, que pesan 820 toneladas, constituyen un haz paralelo con anclajes fijos al tablero, mientras que los de las pilas pueden regularse. El relleno de los anclajes es de resinas, y el de las vainas de polietileno de protección de los cables, de lechada de cemento.

Tanto los cables como los anclajes se ensayaron a fatiga con 4 millones de ciclos entre 50 y 72 kg/mm² y durante el periodo de montaje se protegieron de la corrosión por cierre hermético de la vaina, con filtros antihumedad. De hecho, las vainas fueron transportadas flotando por mar y suspendidas de la cabeza de las pilas, procediéndose luego al enfilado de los cables, que se tensan individualmente por torones en la parte inferior, reajustándose el tiro de los cables en cabezas de pila.

Por su parte, el tablero metálico se fabricó en taller a partir de chapa y perfiles, constituyendo cada uno de los elementos que integran un tramo, que es ensamblado por completo en taller y vuelto a desmontar para su transporte y montaje definitivo en obra. Las uniones se realizaron por soldadura y su calidad se inspeccionó con ensayos físicos y químicos de la chapa y examen por radiografía y ultrasonidos. Además, se ensayó en modelo reducido en túnel de viento.

Los diversos elementos se protegieron en una nave de tratamiento con chorreado de arena, galvanizado, capa de imprimación y capa de sellado y, por último, tras su montaje, con una capa de vinilita de aluminio.

Las estructuras del puente fueron sometidas a pruebas especiales de resistencia y corrosión.



Los elementos fabricados se trasladaron por ferrocarril y barcaza hasta el puente y el montaje del tablero se efectuó por voladizos sucesivos desde las dos pilas hasta 147'42 metros, simétricamente respecto a cada pila; y de este punto hasta el centro del vano, compensado por amarre en las pilas laterales. Para ello se utilizó una plataforma auxiliar de montaje tipo celosía en cada zona de avance, suspendida del tramo ya colocado, el cual, a su vez, va suspendido de los cables.

En el frente del tramo se situó una grúa para colocar el nuevo tramo apoyado en la plataforma y unido al tramo anterior. Estas

uniones se hicieron con tornillos de alta resistencia, mientras que el hormigonado de la losa se realizó progresivamente, con un desfase de dos tramos respecto al montaje.

Las pilas principales son de hormigón armado, integradas por dos montantes verticales separados 27'90 metros entre ejes, y arriostrados a nivel del tablero y en su coronación por sendos travesaños. Su sección es rectangular aligerada, de espesor constante (4'20 metros) y canto variable, entre 9 metros en el empotramiento con la zapata y 4 metros en la coronación. El hueco interior proporciona tabiques de 0'80 m y 0'40 m de espesor en los planos transversales y longitudinales, respectivamente. Los cabezales de los montantes, por recibir los cables de suspensión del tablero, van postensados en las tres dimensiones, y los travesaños intermedios llevan pretensado longitudinal.

► **PILAS DE HORMIGÓN DE 144 METROS**

En cuanto a las pilas, cada una tiene una anchura media de 6'50 metros y una longitud de 27'90 metros. La altura sobre la pleamar es de 125 metros y de 144 metros desde el fondo de la ría. Las cabezas de pilas se ensayaron en modelo reducido y van protegidas exteriormente por un recubrimiento con mortero epoxy-cemento. Para la construcción de las pilas se utilizaron encofrados deslizantes que se izaban por medio de ocho gatos con una capacidad de elevación de 400 Tm., movidos automáticamente desde una central a intervalos de siete minutos. En cada ciclo se realizaba una elevación de 300 mm. y, dado que la sección de los montantes disminuye en sentido ascendente, estaban previstos otros 24 gatos para efectuar dicha reducción, al tiempo que se iba produciendo la ascensión. Así pues, el crecimiento de la pila fue continuo, con una velocidad máxima de 5 mm. durante las 24 horas y mínima de 1,5 m.

Para la cimentación de las pilas en el fondo marino hubo que improvisar artilugios a prueba del fuerte oleaje de la ría

Las zapatas de las pilas centrales son de hormigón armado y están apoyadas en la roca del fondo. Su recinto exterior está formado por 56 tubos de 2 metros de diámetro, que sirven de encofrado. En sus esquinas existen cuatro recintos interiores, formado cada uno de ellos por 4x3 tubos, también de 2 metros de diámetro. El total de los mismos es, pues, de 72. La za-



Izquierda, vista lateral del puente y parte inferior del tablero. Derecha, detalle de los cables anclados en la cabeza de una de las pilas.



pata lleva, asimismo, una serie de anclajes, formados por tubo de 1 metro de diámetro, que la fijan al fondo de la ría penetrando en la roca.

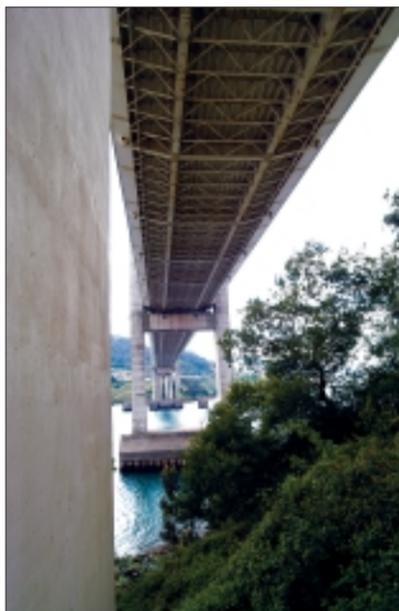
Para ejecutar los recintos de la cimentación se tuvieron que idear unos medios auxiliares específicos, de rápida adquisición o construcción, aunque el problema principal era preparar una estructura que, situada en el mar, asegurara la estabilidad de los tubos en su fase de colocación hasta que formaran grupos autosustentables. Sobre todo, porque los esfuerzos horizontales a soportar procedían de un oleaje de 2 metros de altura máxima y una corriente de marea del orden de 1 m/seg. Y todo ello en un calado de hasta 24 metros en marea alta.

Esta estructura se materializó en un fuerte castillete de celosía metálica en dos cuerpos de 10x10x10 metros, con una altura total de 20 metros y cuatro patas telescópicas en las esquinas. Un grupo de flotadores permitía trasladarlo por el mar y, una vez situado, se elevaban y se llenaban de agua aumentando la estabilidad del conjunto, que debía

soportar un empuje horizontal en su parte superior de 60 toneladas debido a la marea.

Para el hormigonado de las pilas se emplearon plantas de fabricación situadas en ambas orillas de la ría, desde donde se bombeaba el hormigón con auxilio de una pasarela sobre el agua, apoyada en el fondo, hasta el pie de la pila. Allí se recogía y colocaba mediante una grúa de gran altura y potencia, situada sobre la zapata.

Para proteger estas pilas ante posibles colisiones de barcos, se construyeron duques de alba formados por virolas metálicas con corazas de neopreno, colocados sobre un macizo de hormigón de grava inyectada que descansa en el fondo de la ría, previamente saneado. Los tubos metálicos, de 13 metros de diámetro y 5 de altura, se fabricaron en tierra y convenientemente rigidizados se trasladaron y colocaron con cabria flotante. La colocación del hormigón en los duques de alba (12.245 m³) fue similar a la de las zapatas, aunque en este caso, en el macizo de grava vertido en el fondo de la ría los tubos de 2 pulgadas se clava-



ron con martillos de aire comprimido, gracias a la labor de hombres rana.

Los viaductos de acceso tienen 757 metros de longitud el del lado de Vigo y 106 metros el del lado de Pontevedra. El tablero está formado por vigas continuas, una por calzada, con sección transversal tipo cajón monocelular de hormigón postensado y un canto de 2'325 metros. Las luces varían entre 25 y 57 metros. El número de vanos de cada uno de los viaductos es de 17 en el acceso Sur y de 3 en el acceso Norte. Las pilas son de sección en cajón rectangular de 4 metros en el sentido transversal al viaducto, y de 1'70 en sentido longitudinal, siendo el espesor de paredes de 0'30 metros.

► **FLORENCIO DEL POZO**

Doctor-ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Florencio del Pozo Frutos (1924-1993) cuenta con numerosas condecoraciones y premios. Fue profesor emérito por la Universidad Politécnica de Madrid y parte de su actividad académica se centró en las cátedras de Construcción y Cálculo de Estructuras, dirigiendo de 1986 a 1989 el Departamento de Cálculo de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

En materia de investigación colaboró, entre 1947 y 1949, en el Instituto Eduardo Torroja y, de 1965

a 1986, dirigió el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del Instituto Nacional de Tecnología de las Obras Públicas y la Edificación.

En 1962 fundó la Oficina Técnica Florencio del Pozo y en 1971 Proyectos y Estructuras S.A. (PROE), desarrollando una importante actividad en el campo de proyectos de puentes y viaductos. Entre otros, es autor del proyecto ganador del concurso de los puentes (8 de carretera y 3 de ferrocarril) sobre el nuevo cauce del Turia, en Valencia; de los puentes y viaductos en la Autopista Villalba-Villacastín-Adanero (16 estructuras); del puente sobre la ría de Cubas, en Santander; viaducto sobre el río Sil en la Fuente del Azufre, construido por voladizos sucesivos de 260 metros de longitud con un vano central de 130 metros, en

1973, que en ese momento fue récord de luz en este tipo de estructuras de España; puente de Rande y sus accesos; puente de la Barqueta, para la Expo 92 (Sevilla); puente sobre la ría del Asón en la variante de Colindres; y los viaductos de La Capitana y Canero en la variante de Luarca de la Autovía del Cantábrico.

También es el autor de otros proyectos en el extranjero, como el puente mixto de ferrocarril y carretera sobre el río Caroni en Angosturita (Venezuela), y el puente sobre el río Chao-Phia en Bangkok (Tailandia). ■

PUENTE DE RANDE

Situación: En la ría de Vigo, en el tramo Pontevedra Sur-Vigo de la autopista AP-9

Años de construcción: 1974-77

Tipología: Puente atirantado

Longitud: 695 m.

Altura de las pilas: 128 m.

Luz: 400 m.

Anchura de tablero: 23,46 m.

Autor: Florencio del Pozo Frutos, en colaboración con Fabricio de Miranda y Alfredo Passaro



Audacia y originalidad

VÍCTOR MEDINA | FOTOS: CABALLERO

El puente del Milenario, enclavado en Tortosa (Tarragona), es una pieza única al reunir originalidad en su estética y audacia en su estructura. Se trata, además, de todo un récord mundial en su momento dentro de la categoría de los puentes mixtos. El trabajo conjunto de los ingenieros José Antonio Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón se plasmó en sus dinteles de grandes luces y sus majestuosas piezas escultóricas de hormigón, integradas en el entorno urbano mediante terrazas ajardinadas.

El sólido puente del Milenario ha resuelto los problemas de tráfico de Tortosa.

La historia de la ciudad de Tortosa siempre ha estado ligada al río Ebro. Fundada como Lulia llercavonia Dertosa en el siglo I a. C., fue en tiempos una estación de la Vía Augusta con gran importancia en el comercio fluvial. El cauce del Ebro fue límite entre cartagineses y romanos, circunstancia que se repetiría después con árabes y cristianos y, finalmente, durante 1938, en plena Guerra Civil, entre los bandos contendientes. Fue el 15 de abril de aquel año cuando el ejército republicano se instaló en la ciudad y voló sus puentes. Tras la contienda se reconstruyó el puente por el que transitan las comunicaciones ferroviarias entre Barcelona y Valencia, y se proyectó el llamado puente del Estado, un trabajo a cargo de Eduardo Torroja.

Este puente fue durante décadas el único punto de tránsito sobre el río en Tortosa, lo que se traducía en tapones y atascos que demoraban la circulación unos treinta minutos, una circunstancia anómala para una ciudad de 20.000 habitantes. Una vez constatada la insuficiente labor de este puente, el Ayuntamiento solicitó al MOPU en 1977 la construcción de uno más acorde a las nuevas necesidades. En 1979 se realizó un informe favorable por la Dirección Provincial de Carreteras de Tarragona y se analizó una propuesta de estudio de la conexión de las carreteras N-230 y C-235 entre las dos márgenes del Ebro.

Una de las primeras actuaciones de la Generalitat catalana tras la asunción de competencias fue la de promover este proyecto, que vendría a resolver los graves problemas de tránsito en Tortosa. Así, el 29 de abril de 1981 se encargó el proyecto a un equipo de ingenieros comandado por José Antonio Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón.

► EL PROYECTO

Este puente es fruto del trabajo conjunto de este equipo, que trabajó desde 1959 hasta la muerte de Ordóñez, en el año 2000. “Nuestras obras son resultado del esfuerzo común –aseguraba J.A. Fernández Ordóñez–; somos una pareja muy competente en el diseño de puentes, pero en puentes grandes, no pequeños”. Y grande fue la empresa que acometieron con el puente de Tortosa.

El pont del Mil-lenari fue concebido como un puente museo, un monumento que no perdiera su carácter urbano-rural, enclavado en plena Tortosa y con las condiciones de monumentalidad y representatividad. Desde un principio se optó por incorporar un museo dentro de los estribos del puente. Una audacia que convertiría el puente en una pieza única, más allá de lo puramente técnico, inmerso en un contexto histórico-estético, unido a los factores ambientales y urbanísticos del entorno.



Vistas de uno de los estribos (página opuesta), de la parte inferior del tablero y del puente desde un lateral.

Desde el inicio, Fernández Ordoñez se mostró entusiasmado con el proyecto, hasta el punto de diseñar el primer boceto del puente en una servilleta de papel, en la estación de servicio de una autopista, después de pronunciar una conferencia en Tortosa sobre el entonces hipotético puente.

Tan a priori improvisada acción supuso para el ingeniero todo un giro en la trayectoria como proyectista de puentes urbanos. Su carrera profesional tiene como obras puntales el viaducto de Eduardo Dato sobre el pase de la Castellana (Madrid), en el que destaca el uso de vigas de cajón de acero corten y pilas de hormigón blanco; el nuevo puente del Diablo, en Martorell, y, finalmente, el de Tortosa. En el caso del puente del Diablo sobresale el tratamiento de las pilas de apoyo, doblemente agujereadas; un trabajo tratado como “una de las esculturaciones más hermosas y perfectamente resueltas de la historia pontificia moderna”.

► OBJETIVO INTEGRADOR

La voluntad integradora con el entorno era una premisa obligada en la construcción del nuevo puente, máxime cuando el anterior había sufrido, según los expertos, del problema del encajonamiento en la ciudad. Para su construcción se derribaron una plaza y una manzana entera de casas. Esto no le confirió el sufi-

La audaz inclusión de un museo del Ebro en los estribos convierte al puente del Milenario en una pieza única

ciente acceso, sino que sumió al entorno en una sensación de agobio, motivada por la excesiva cercanía de las casas adyacentes. El nuevo puente vendría a corregir estas deficiencias, otorgando espacio a la construcción. Cien metros de jardín a cada lado darían amplitud al proyecto, ubicado en una vega de cultivo con más de diez metros de profundidad de limo.

De planta ligeramente arqueada, el puente tiene dos pies derechos gigantes que forman sendas T (de Tortosa). Tiene 200 metros de amplitud, una longitud total de 1.300 m., contando el propio puente y los accesos (400 m. si se excluyen éstos), y 12 metros de altura de la cota del tablero del puente sobre el nivel de los márgenes. El problema que suponía superar esta muralla transversal se resolvió con unos grandes aterrazamientos de piedra seca a ambos lados de las rampas de acceso, al modo tradicional de construcción en las laderas de las tierras de secano de la zona del Ebro. La idea que los ingenieros querían conferir a estos grandes muros escalonados era que emergieran del suelo como pirámides aztecas dispuestas en escalones, para anular la elevación de las rampas, que ascendía desde la cota hasta los 12 metros del tablero del puente.

Fernández Ordoñez y Martínez Calzón también pensaron en



una pasarela elevada para el paso de peatones sobre el eje de la calzada, con reminiscencias directas con el puente colgante de Brooklyn, en Nueva York (EE UU). Construidas con madera y habilitadas para el tránsito de bicicletas y personas, las rampas de acceso ascienden superpuestas al escalonado de las terrazas. El efecto de integración entre las rampas y el escalonado de las terrazas es total.

El nivel de la pasarela de los peatones, a 18 metros de altura sobre los márgenes del río (seis sobre el tablero de la calzada), trajo consigo la dificultad del acceso. La posibilidad de instalar un ascensor en la pasarela encarecía el proyecto al plantear la exigencia de vigilancia. Finalmente, se ideó sobre el papel la habilitación de un recorrido de los primeros 12 metros como si se tratara de un paseo, en el que se incluían escaleras, pla-

zoletas y jardines que discurrían sobre los terraplenes. Los últimos seis metros quedaban resueltos con una escalera erigida sobre una estructura metálica porticada. En la realidad, la construcción de los terraplenes escalonados descrita se limitó al margen izquierdo del río, y finalmente tampoco se hizo la pasarela de peatones y bicicletas.

En los extremos del largo paseo peatonal se habilitan unas plazoletas, y en el centro otra plaza en la que se ubican varios bancos a modo de mirador desde donde contemplar las vistas del paisaje. En ese lugar también se encuentra un centro de comunicaciones de las Terres de l'Ebre, con reminiscencias de la creuera o cruz que marcaba los caminos territoriales del antiguo puente de barcas.

El exceso del coste de la construcción del puente sobre el presupuesto inicial impidió la habilitación de los pies derechos del soporte de la estructura de la pasarela peatonal como habían sido proyectados, siendo al mismo tiempo los soportes de la iluminación de ésta. Se substituyó por otra alternativa, descrita así por Salvador Tarragó, colaborador en el proyecto: “(...) desgraciada iluminación a base de un gran cilindro situado a lo largo del eje de la calzada y de unos pasamanos iluminadores en las barandillas, que de día impiden ver el paisaje desde dentro del coche y de noche deslumbran y hacen peligrosa la travesía del puente... queda pendiente, para terminar el pont del Mil-lenari, la construcción de la pasarela y la iluminación original”.

El diseño de las caras frontales de las pilas blancas de Tortosa continúa la parábola que describe el arco metálico que se apoya sobre ella. Los brazos, cortos y potentes, que han sido comparados con capiteles persas, reciben el arco siguiendo la misma curvatura que describe, y en el movimiento descendente forman un fuste de pila que se asemeja a un tronco de pirámide muy abierto.

► UN MUSEO EN LOS ESTRIBOS

Paralelamente a la construcción, los responsables del proyecto sugirieron crear una asociación para gestionar los espacios culturales creados en ambos estribos. Con ello, como asegura Salvador Tarragó, se quería responder al “riesgo de que estos espacios, dejados vacíos sin los forjados interiores e instalaciones previstas en el proyecto general de puente para futuro museo, pudieran convertirse en simples almacenes. Se dio forma a una muestra itinerante que, con el título *De la navegación a la travesía del Ebro*, describía tanto los sistemas tradicionales de trans-



*Entrada al museo
y uno de los
pilares centrales
del puente.*

porte fluvial en el curso del Ebro catalán como los sistemas de cruce y los puentes que habían atravesado el río. La exposición fue todo un reto y permitió presionar al Gobierno autonómico para que aportara fondos para financiar al museo.

Fruto de estos esfuerzos, emprendidos sobre todo a través de la asociación Amics de l'Ebre, fue la asunción de un convenio interanual que traería consigo no sólo la construcción del Museu de l'Ebre, dentro de los estribos del puente, sino también la restauración de la masía contigua al nuevo puente, que sería cedida para su gestión durante 35 años. Sin embargo, la aportación económica sólo permitió la apertura de las salas del Museu, con lo que quedaron pendientes las salas del estribo derecho y la urbanización del correspondiente entorno.

► UN INGENIERO INQUIETO

De Jafo, el sobrenombre de José Antonio Fernández Ordóñez que trascendió su círculo familiar y de amistades, quedan tras su muerte, el 4 de enero de 2000, un buen número de obras emblemáticas. Además de las ya mencionadas, forman parte de su trabajo el proyecto de la montaña de Tindaya y los puentes de Oporto y de San Sebastián; el del Centenario de Sevilla, o los de las ciudades de Valencia, Barcelona, Córdoba, y Salamanca, lo que da una idea de la ingente tarea emprendida.

Su trabajo superó fronteras más allá del diseño de puentes, como demuestra su proyecto de la avenida de la Ilustración y del centro comercial de La Vaguada, ambos en Madrid. Fernández Ordóñez también dejó su sello en proyectos internacionales como un mausoleo pakistaní y el puente sobre el Gran Canal en Venecia. Su prolífica obra no le impidió ocupar cargos de responsabilidad, como la presidencia del Colegio Nacional de Ingenieros de Caminos, una

cátedra de Historia y Estética de la Ingeniería, una consejería en la Junta Asesora de Monumentos Histórico-Artísticos y la presidencia del Patronato del Museo del Prado de Madrid. Los que le conocieron no sólo alaban su profesionalidad, sino también su amor por las artes y su sociabilidad.

Julio Martínez Calzón le califica como un gran perfeccionista y asegura que la experiencia a su lado siempre fue excelente. "Su ojo y forma de mirar eran una referencia muy buena. Cada uno tenía una parcela distinta, él se dedicaba a la estética y a las relaciones públicas; la parte estructural era cosa mía". De sus trabajos conjuntos, que comenzaron en 1968 con el concurso del puente de Cuatro Caminos, en Madrid, Martínez Calzón destaca la aportación activa en el también madrileño puente de Juan Bravo. ■

PUENTE DEL MILENARIO

Situación: En la periferia de Tortosa (Tarragona)

Año de construcción: 1981

Tipología: Pórtico con empotramientos elásticos entre dintel y pilas, dintel simplemente apoyado en los estribos y pilas empotradas en la cimentación

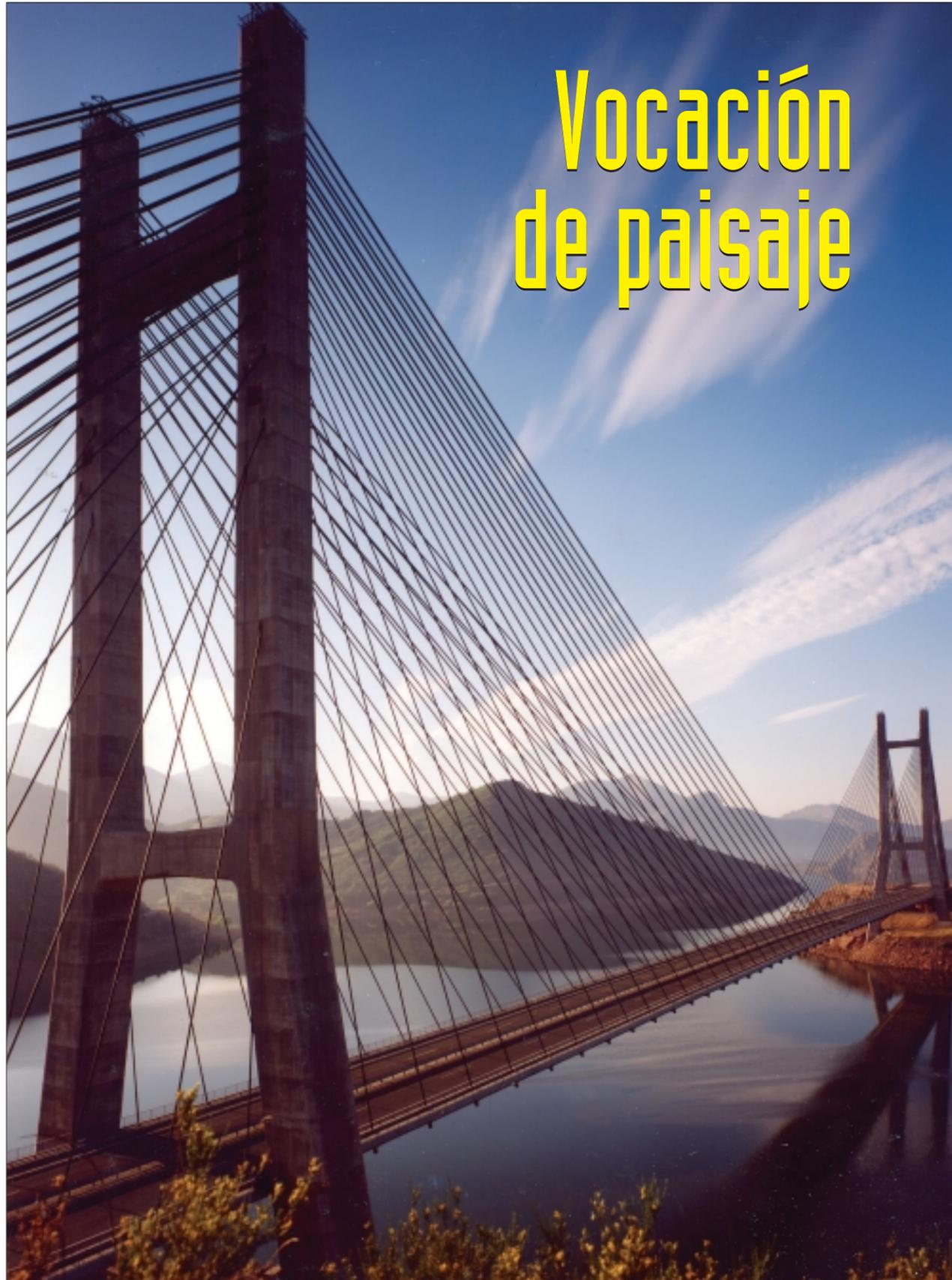
Longitud total: 348 m.

Luz libre: 180 m.-102 m.

Anchura del tablero: 17,7 m.

Autores: José Antonio Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón

Vocación de paisaje



La armónica silueta del puente se integra a la perfección en el agreste escenario natural.

SOLEDAD BÚRDALO | FOTOS: OFICINA DE PROYECTOS CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.A.

Récord mundial, en su momento, de puentes atirantados, esta soberbia obra de ingeniería, con sus 440 metros de luz, es un ejemplo de integración en el paisaje, inconcebible ya sin la presencia majestuosa de sus torres y el juego de luces y formas creado por sus cables.

Circulando por la autopista A-66 León-Campomanes (la única en España cuyo trazado discurre íntegramente por alta montaña y que comunica Asturias con la Meseta a través de la Cordillera Cantábrica), sobre el embalse leonés de Barrios de Luna, surge como por ensalmo la deslumbrante silueta de uno de los puentes atirantados más hermosos del país. Sus esbeltas torres, el elegante juego geométrico de las líneas de cables que atirantan el tablero y la belleza del agreste y bronco entorno natural, confieren al lugar unas cualidades escenográficas que el viajero que lo cruza percibe con emocionada admiración. La pieza impone su escultórica geometría con firmeza pero también con tal naturalidad que a uno le cuesta imaginar-

se esa parcela del territorio sin su enriquecedora y sensible presencia. Y es que, más allá de la funcionalidad que determinó su construcción, la de facilitar la comunicación entre Asturias y la Meseta, la obra reúne unas cualidades estéticas y técnicas que la convierten en un hito paisajístico, en un símbolo de la capacidad humana para superar los obstáculos impuestos por la naturaleza.

Esta modélica muestra de conjunción entre obra de ingeniería y paisaje, galardonada en 1985 con el premio Construmac, lleva la firma de una de las personalidades más descolantes de la técnica española actual, Javier Manterola Armisen (Pamplona, 1936), cabeza visible del equipo técnico de la oficina de proyectos Carlos Fernández Casado



(integrado por Leonardo Fernández Troyano, Miguel Ángel Gil Ginés, Miguel Ángel Astiz Suárez, Amando López Padilla y Pablo Díaz Simal, entre otros ingenieros) que se encargó de su diseño. Precisamente, y en homenaje a la valiosa aportación de esta figura central de la ingeniería del siglo XX en España y fundador de la consultoría encargada de su ejecución, fallecido en 1988, el puente fue bautizado unos años después de su inauguración con el nombre de Ingeniero Carlos Fernández Casado.

► **RÉCORD MUNDIAL**

La obra, terminada en 1983, destaca no sólo por una potente y atractiva imagen plástica que cautiva al observador. En el terreno técnico, su construcción significó igualmente un gran éxito de la ingeniería española: con sus 440 metros de luz libre en el tramo principal, fue en su momento récord del mundo por dos conceptos, tipología y ma-

Los 440 metros de luz libre en el tramo principal fueron récord mundial de puentes atirantados

terial (atirantado de hormigón). El récord mundial absoluto de puentes atirantados lo mantuvo hasta el año 1986, cuando se terminó el puente de la isla de Annacis sobre el río Fraser, en Canadá, con 465 metros de luz y tablero mixto (la anterior marca estaba en poder del puente de Saint Nazaire-Saint-Brevin sobre la desembocadura del Loira, en Francia, 404 metros de luz y tablero metálico, levantado en 1975); y el récord de puentes de hormigón hasta el año 1992, cuando se terminó el puente de Skarnsundet en Noruega, de 530 m. de luz (el récord anterior lo detenía el puente Brotonne, construido en 1977 sobre el río Sena, en Francia, con 320 metros).

De las diferentes tipologías de puentes, la familia de los atirantados ha sido la última en incorporarse al paisaje. Como puente moderno, su nacimiento es muy reciente, se produce en la década de los cincuenta del pasado siglo, experimentando desde entonces un ex-



A la izquierda, un momento de la construcción del tablero por avance sucesivo en voladizo. Arriba, vista del tablero desde una de las torres.

traordinario desarrollo. En poco más de cuatro décadas se ha pasado de los 183 metros de luz principal del primer puente atirantado, el de Strömsund en Suecia, ejecutado en 1955, a los 856 metros del de Normandía, levantado en 1995 sobre el estuario del Sena, cerca de Honfleur. Su especial atractivo visual y la multiplicidad de variantes que admite, tanto estructurales como formales, explican la vitalidad de esta tipología especialmente adecuada para grandes luces (actualmente el rango está comprendido entre los cien y los mil metros). Los elementos que más identifican a esta modalidad de puentes son sus cables rectos, que atirantan el tablero, proporcionándole una serie de apoyos intermedios más o menos rígidos. Habitualmente, de cada torre parten dos haces de cables, uno que atiranta el vano principal y otro que

hace lo propio en los vanos de compensación. No obstante, en la configuración de su estructura resistente intervienen otros dos elementos más: las torres, que dan apoyo a los tirantes, y el tablero, que equilibra las fuerzas horizontales introducidas por la inclinación de los tirantes.

► **SOLUCIÓN ATIRANTADA**

Como ya se avanzó unas líneas más arriba, el puente Ingeniero Carlos Fernández Casado se levanta en el inicio de la autopista León-Campomanes, sobre el embalse de Barrios de Luna, en la provincia de León. Antes de optar por la solución atirantada, se estudiaron un total de veintidós alternativas diferentes. La mayor parte de las mismas contemplaban la construcción de un puente con varios apoyos, lo que obligaba inexorablemente a cimentar en el seno del pantano. Para analizar su viabilidad se estudiaron exhaustivamente las condiciones de éste (características geométricas e hidráulicas del vaso, características geotécnicas del suelo), llegándose a la conclusión de que la solución más económica, estética y ajustada a plazos era la de saltar de un lado a otro del embalse, sin apoyo intermedio alguno, con un puente atirantado de hormigón de 440 metros de luz.

La morfología del valle y la cota del pantano condicionaron la longitud de los tres vanos que componen la obra: dos laterales de compensación de 66 metros y uno central de 440 metros, más sendos estribos de 34 metros de longitud en los que se empotran los apoyos laterales y cuya función principal es la de servir de contrapeso del atirantamiento del tramo central.

El tablero, de 22,5 metros de ancho y 2,5 metros de canto, tiene articulación en el centro del vano principal y está resuelto en hormigón pretensado. La elección de este material se decidió después de un meticuloso análisis de las distintas alternativas posibles: hormigón, acero o construcción mixta. Hasta esos momentos la experiencia existente en el mundo para las luces consideradas en el proyecto se asociaba exclusivamente al acero. El puente de Saint Nazaire-Saint Brevin, de 404 metros de luz y récord mundial hasta la construcción del de Barrios de Luna, tiene dintel metálico. Los estudios preliminares contemplaban una propuesta de este tipo, pero los datos al respecto pusieron de manifiesto que la solución óptima por economía era la del tablero de hormigón. Asimismo, se tuvo en consideración que, desde el punto de vista de la comparación entre las características dinámicas

de ambos tableros (necesarias para controlar la inestabilidad aerodinámica que se van agravando conforme aumenta la luz del puente), el hormigón presentaba notables ventajas por su mayor rigidez, masa y amortiguamiento estructural.

► **LAS DOS TORRES**

Junto con los cables, los elementos protagonistas de la construcción son las dos torres o pilas que sujetan el tablero. Resueltas igualmente en hormigón y colocadas fuera del embalse, se elevan 90 metros sobre el tablero, siendo su altura máxima sobre el terreno de 123 metros. Llama la atención su diseño, que adopta por primera vez la forma trapecial-rectangular con el fin de mantener el sistema de tirantes perfectamente vertical y permitir que el tablero atraviese la pila sin tocarla en la parte inferior. Están formadas por dos fustes verticales en la parte superior que contienen los puntos de anclaje de los tirantes en el dintel, y ligeramente inclinados en la inferior para dejar paso al tablero, unidos entre sí a dos alturas para mejorar su respuesta ante los efectos del viento.



J. CABALLERO

El diseño de las torres ayuda a mantener la verticalidad del sistema de tirantes.

El atirantamiento, que adopta una distribución intermedia entre la de abanico (con todos los tirantes partiendo de la parte superior de la pila) y la de arpa (con los tirantes paralelos saliendo a partes iguales del fuste) se realiza con dos familias de tirantes, una a cada lado del tablero. Éstos, formados por torones de 6 pulgadas de diámetro cuyo número varía en función de su situación (desde 24 para los tirantes próximos a la pila a 80 para el situado en el centro del vano principal), se anclan en el tablero cada 8,16 metros. Este sistema de atirantamiento soporta al dintel en toda su longitud, incluso en la zona de la torre, donde se apoya sólo horizontalmente.

En su construcción, realizada en apenas cuatro años, se empleó el sistema de avance sucesivo en voladizo, con dovelas de 4,2 metros de largo y 22,5 de ancho hormigonadas *in situ*, en lo relativo al tablero; las pilas, por su parte, se realizaron con encofrado deslizante, tanto la parte inclinada como la vertical. ■

PUENTE DEL INGENIERO CARLOS FERNÁNDEZ CASADO

Situación: En el inicio de la autopista A-66 (Campomanes-León)

Año de construcción: 1983

Tipología: Puente atirantado de hormigón

Longitud total: 572 metros, distribuidos en un vano central de 440 metros y dos laterales de 66 m., y dos estribos de 34 m.

Luz tramo atirantado: 440 m.

Altura de las pilas: 123 m.

Anchura del tablero: 22,5 m.

Autores: Javier Manterola Armisen y Oficina de Proyectos Carlos Fernández Casado



Los arcos planos y los cubreaceras de lona son los elementos más característicos del perfil del puente.

Inspirado en el puente de Alejandro III de París, un arco muy plano hecho expresamente para la Exposición Universal de 1900, José Luis Manzanera, catedrático de Estructura II en la ETS de Arquitectura de Sevilla y ganador de dos premios Puente de Alcántara, concibió el puente del Cristo de la Expiración para la Expo 92. La fijación de este ingeniero natural de Chapina en su primera estructura de gran tamaño era que el puente salvara el cauce del río de un solo salto, sin pilas intermedias que impidieran contemplar el paisaje. Por primera vez en cuarenta años las aguas del Guadalquivir fluirían libremente por Chapina, zona en la que el río se soterró por las constantes inundaciones que provocaba.

Este barrio se encuentra junto al centro histórico de la ciudad hispalense, por lo que la idea de ubicar un objeto sobre rasante que compitiera visualmente con la riqueza arquitectónica de Sevilla, con un paisaje consagrado durante siglos, no le gustaba. La Torre del Oro o la Giralda están muy próximas, por ello decidió que el puente fuera de tablero superior y que el esfuerzo de resistencia se desarrollara bajo rasante.

Arcos planos sobre el agua

PEPA MARTÍN | Fotos: CABALLERO

También conocido bajo los nombres populares de puente de Chapina y del Cachorro, con la construcción del puente del Cristo de la Expiración, su nombre oficial, la ciudad de Sevilla recuperó finalmente en el año 1991 el cauce del río Guadalquivir con una original estructura caracterizada por dos arcos planos sin igual en el mundo para un puente de 126 metros de luz.





Con estas premisas, y con el proyecto de reordenación urbana de Chapina como telón de fondo, ideó una elegante estructura de acero formada por dos arcos muy rebajados de 130 metros de luz, sin soporte bajo el agua. No se conoce en todo el mundo otro arco de esa luz que sea tan plano.

► **SOPORTE DE REDES DE SERVICIO**

Los arcos son biarticulados y descansan a través de complejas rótulas en dos estribos formados por dos grandes zapatas, de 13 metros de profundidad, hechas de hormigón compactado. Sobre ellas se alzan dos recintos con muros revestidos de granito, que sirven como oculto almacén para las obras de mantenimiento de las redes de servicios que discurren por el puente.

Y es que la parte inferior proporciona soporte a infraestructuras básicas de abastecimiento a Sevilla que antes cruzaban por el aterramiento. El puente alberga dos tuberías de metro y medio de diámetro que, a través de veinte coaxiales y fibra óptica, enlazan la ciudad con Extremadura y Portugal, líneas eléctricas, la conducción del gas a Triana o el telégrafo, entre otros servicios.

De hecho, gran parte de las disposiciones constructivas de la estructura están condicionadas por ello. El puente, por lo tanto, no es sólo un viaducto, sino un acueducto lleno de válvulas, ventosas y elementos de desagüe que alberga más de diez kilómetros de cables de todo tipo.

Por su parte, los arcos se construyeron en seco apoyados en unos pórticos provisionales cimentados sobre el tapón de Chapina, aprovechando que no había cauce para levantar la estructura con comodidad.

A su vez, los arcos sostienen un tablero ortótropo de 223 x 30 metros formado por un emparrillado metálico que se mezcla con los arcos en el centro y que se sustenta con pilones birrotulados en riñones. Sobre él descansan dos aceras anchísimas, cada una de casi seis metros que, al llegar a riñones, se dividen en dos, ofreciendo al peatón la posibilidad de bajar directamente a la orilla del río en vez de continuar sobre el estribo.

Los detalles de la estructura metálica y los elementos auxiliares —como es el caso de los cu-



La dilatación que el calor provocó en los arcos fue una de los retos a los que hubo que dar una pronta solución.

breaceras de lona blanca que cuelgan de mástiles a lo largo de todo el puente, dándole a su perfil un aspecto alegre y llamativo— también se pensaron con la intención de no destacar sobre el conjunto.

De esta forma, Manzanares consiguió diseñar y construir un puente discretamente integrado en el entorno sin ocultar el paisaje de Sevilla —si nos posicionamos río abajo— o la nueva ciudad que se construyó con la Expo —si se mira aguas arriba—, y respetar a la vez al máximo el cauce de la dársena del Guadalquivir.

El proyecto de construcción de este puente topó con un cúmulo de dificultades que José Luis Manzanares resolvió de forma eficaz. La mayor complicación apareció a la hora de la cimentación. Los arcos podían llegar a transmitir al terreno compuesto con gravas y margas un empuje horizontal de 12.000 Tm. Se resolvió me-

dante una gran zapata de 8.000 m³ de hormigón seco compactado con rodillo colocado en un recinto apantallado.

► **ARCOS DILATADOS**

Terminados los arcos y sostenida la estructura por los pórticos, antes de unir los extremos a los cimientos se observó que cada día los arcos se dilataban cuatro centímetros con el calor del sol, y por la noche al enfriarse volvían a su sitio. Podían surgir problemas si se desprendían al anochecer al intentar volver a su estado original.

El puente no es sólo un viaducto, sino un acueducto lleno de válvulas, elementos de desagüe y más de 10 km. de cables de todo tipo

Tras un estudio meticuloso, se concluyó que para realizar el proceso de cimentación se podía aprovechar la dilatación producida por el sol diurno. Para ello se decidió soldar primero el puente a un solo lado, se sujetó al estribo de Sevilla y se dejó libre del lado de Triana. Los soldadores lo unieron en

una mañana al cimiento de la plaza de Armas. La idea era repetir la operación en el lado de Chapina al amanecer del día siguiente, cuando el arco estaría más corto.

Hecho esto, el ingeniero calculó que cuando los arcos se alargaran con el calor del sol, la dilatación con los extremos ya fijos lanzaría la clave hacia arriba, y así la estructura se despegaría de los apoyos intermedios. Después se aflojarían los gatos para dejarla libre en el aire, subiendo y bajando con la temperatura en lugar de alargarse y acortarse.

Pese a lo complicado que parecía, y frente a las dudas que algunos ingenieros plantearon, la operación finalmente fue un éxito. El puente de Chapina se levantó, y aunque en los días posteriores se constató que la estructura se movía, finalmente quedó encajada y no volvió a desplazarse más. Años después se verificaron los eventuales movimientos del puente y se comprobó la rigidez de sus cimientos. El comportamiento del terreno ante esfuerzos horizontales resultó más eficaz que lo que la técnica actual presume.

▶ OTRAS ACTUACIONES

Los distintos elementos que componen la estructura metálica se construyeron en taller, siguiendo el despiece descrito en el proyecto. Tras equipar cada dovela de los arcos con sus correspondientes secciones de conducciones, rigidizadores y vectores, pasar el control de calidad y recibir la primera parte del esquema de protección superficial, se enviaron a obra para su ubicación en el lugar previsto.

A lo largo del verano de 1991 la estructura se fue completando. En septiembre se hicieron las pruebas de carga. Se comprobó que, aún con el peso, los arcos subían en lugar de bajar, un efecto que ya se había observado en el puente de Triana en el siglo XIX. El motivo era que a medida que el sol calentaba la estructura se dilataba, aumentando de tamaño, pero ni el peso de los camiones era suficiente para contrarrestar este efecto.

Oficialmente, el puente se inauguró el 17 de octubre de 1991. Meses después se acabó de retirar la tierra y se recuperó el cauce del río Guadalquivir, haciendo revivir una parte de la ciudad hispalense que había quedado muy degradada durante los más de cuarenta años en los que sus aguas habían permanecido soterradas. ■



Vista de una de las pasarelas de acceso al puente y de la parte superior del tablero.

PUENTE DEL CRISTO DE LA EXPIRACIÓN

Situación: En Sevilla, sobre el Guadalquivir

Año de construcción: Agosto de 1989-octubre de 1991

Tipo de puente: Arcos metálicos biarticulados

Longitud: 225 m.

Anchura del tablero: 31,5 m.

Luz total: 126 m.

Autor: José Luis Manzanares



El origen del puente de la Barqueta fue un concurso de proyecto y construcción lanzado en diciembre de 1987 por la Sociedad Estatal para la Expo 92 de Sevilla. El nuevo puente, que originalmente iba a ser una pasarela, debía servir para cruzar el meandro de San Jerónimo sobre el río Guadalquivir y propiciar la unión entre el casco histórico de Sevilla y la Isla de La Cartuja.

Las empresas Auxini y Ensidesa presentaron al concurso el proyecto elaborado por los ingenieros Juan José Arenas y Marcos J. Pantaleón y, tras su adjudicación, la Sociedad Estatal dio luz verde al proyecto definitivo de construcción en julio del año siguiente, cuando se decidió crear una unión temporal de empresas (UTE) para la ejecución de la obra.

► **PROCESO CONSTRUCTIVO**

Con las condiciones básicas del concurso, la solución que planteó este proyecto para salvar un vano de casi 170 metros, a escasa altura sobre el agua y con terreno de cimentación relativamente flojo, era la del arco superior atirantado por el propio tablero, que funciona, en términos generales, como un tramo simplemente apoyado, es decir, como una gran viga isostática.

En septiembre de 1988 comenzaron los trabajos de cimentación, y un mes después la construcción de las piezas de acero. En mayo de 1989 el puente ya estaba dispuesto para su montaje por rotación. Desde el principio, los ingenieros imaginaron que esta infraestructura debería construirse en una orilla para ser girada posteriormente mediante flotación hasta su emplazamiento definitivo.

Terminado el montaje del puente y tensadas sus péndolas, se excavó una dársena en la margen del río por la que penetraron los flotadores que tomaban, con gatos, la mitad de su peso. El giro es posible mediante una rótula, diseñada para aceptarlo sin apenas rozamiento, cimentada adecuadamente y con dispositivo de seguridad para hacer frente a cualquier balanceo indeseado.

Los flotadores, arrastrados con cables, aproximaron al puente a la otra margen y pasaron a uno y otro lado de las pilas en ella construidas. Llegados a su destino, el puente descendió suavemente sobre sus apoyos definitivos, procediéndose entonces a desmontar la rótula provisional.

Una vez que se llevó a cabo esta operación, y con

Recuerdos de la Expo

PEPA MARTÍN | FOTOS: CABALLERO

Construido entre 1989 y 1990, La Barqueta es un puente colgante de 168 metros de longitud con un solo ojo apoyado de orilla a orilla del Guadalquivir. Es un diseño inusual para uno de los accesos principales a la Expo de 1992, de la que fue todo un símbolo, y que hoy sirve de entrada al parque temático Isla Mágica y a Tecnópolis.

El arco atirantado del puente es todo un símbolo de la Expo. Debajo, el puente en fase constructiva.



APIA XXI

el puente en su emplazamiento definitivo, se emprendieron los trabajos de acabado, que concluyeron en diciembre de 1989 con las pruebas de carga. El puente comenzó a prestar servicio en abril de 1990, y por él transitaban todos los materiales necesarios para la construcción de los distintos pabellones de la Exposición Universal.

► **LAS VENTAJAS DEL ACERO**

Al importante reto constructivo que supuso en su día el poner en pie este puente se sumó el hecho de que el material elegido fuera el acero, muy poco utilizado en España en aquellos momentos por sus elevados costes de conservación frente al hormigón, predominante en la construcción de grandes infraestructuras. Frente a este inconveniente, los ingenieros consideraron que las ventajas del acero eran mucho mayores para ejecutar un puente de las características de La Barqueta.

En primer lugar, la ligereza del material y la posibilidad de prefabricarlo en una taller fueron dos motivos de peso para elegir el acero, a los que se sumaron los plazos del concurso, que eran apremiantes. Por delante tan sólo restaban diez meses para concluir la obra, un tiempo insuficiente para realizarlo en estructura de hormigón, aunque posible si se trataba del acero, como se acabó demostrando.

El hormigón admite también prefabricación de segmentos y ensamblaje posterior en obra, pero con un peso muy superior al acero que hubiera impedido el procedimiento constructivo basado en el giro y flotación. El puente hubiera debido montarse en su emplazamiento definitivo cruzado sobre el meandro de San Jerónimo, lo que hubiera exigido una importante cimentación provisional de pilotes hincados o excavados, planteando, además, un serio problema constructivo para la colocación de piezas prefabricadas de gran peso.

Además, el arco atirantado se compone de arco comprimido y de tablero traccionado, pieza para la que parecía idóneo el empleo del acero como material resistente a la tracción. Podría haberse utilizado un tablero de hormigón pretensado –el hormigón precomprimido por la acción de los tendones de pretensado permite resistir tracciones hasta cierto punto–, pero con el inconveniente de que hubiera tenido un peso cinco veces superior al del tablero de acero.

Sin embargo, en el caso del arco, pieza funda-



Los pórticos triangulares exteriores constituyen una auténtica puerta de acceso al recinto de la Expo y de regreso al casco viejo de Sevilla.

mentalmente comprimida, las posibilidades del hormigón frente al acero aumentan. De hecho, los ingenieros aseguran que con formas y dimensiones globales similares a las del proyecto de acero el arco hubiera podido desarrollarse en hormigón armado.

Es más, las formas adoptadas en el arco y los pies inclinados –que son planos con rehundidos longitudinales– provienen de una mentalidad de pro-



yectista de hormigón, que trabaja sobre un material que tiende más a volúmenes macizos que huecos, frente a la de un proyectista de estructuras de acero, material en el que la regla general son las superficies planas, que aprovechan la bidimensionalidad de las chapas.

► **SIMBOLISMO Y FUNCIONALIDAD**

El concepto de gran arco elevado sobre el tablero puentando los 170 metros que hay entre las orillas responde, básicamente, a motivos funcionales. Había que salvar el cauce del meandro sin apoyos intermedios, y ello a muy poca altura sobre el agua, y el arco atirantado ofrece una solución perfecta.

La claridad mecánica del puente se refuerza con las péndolas de sustentación, que permiten apreciar cómo el peso y las cargas del tablero se transmiten al arco exento. No haber incluido en el diseño más que un arco central condujo a que

no haya más que un plano axial de péndolas, con total limpieza geométrica y sin los entrecruzamientos ópticos tan inevitables en puentes con doble plano de tirantes. Se eliminó así toda sensación de cierre, por lo que se puede contemplar el cauce del río y las vistas de ambas márgenes.

Los pórticos triangulares extremos añaden tridimensionalidad y ayudan a la comprensión del juego de fuerzas entre el arco, los pies inclinados y el propio tablero. Los autores quisieron de esta forma añadirle también un valor simbólico, ya que los pórticos, al abrazar al tablero, constituyeron en su momento auténticas puertas de entrada al recinto de la Exposición Universal y de regreso al casco viejo de la ciudad, transmitiendo una invitación a pasar y cruzar.

A la vez, evitaban la caída del arco sobre el centro del tablero y mejoraban la estabilidad del arco exento en sentido transversal. La solución a este problema se completó al cubrir los 30 metros finales de cada ex-

Su peculiaridad reside en el innovador diseño, con un arco central volando sobre el tablero y el contraste blanco-rojo de péndolas y estructura

tremo del puente mediante pies inclinados, lo que supuso reducir a sólo 108 metros la longitud de vuelo del arco, 2/3 partes de la luz total del puente.

Otra novedad en la construcción de puentes de acero fueron los rehundidos de las superficies del arco y de los pies inclinados, una solución muy laboriosa pero de gran calidad estética. Su objetivo es componer piezas comprimidas de acero autorrigidizadas por forma y a la vez evitar grandes superficies de chapa que, tras los procesos de soldadura, ofrecen aguas y ondulaciones.

En el plano estructural, la gran travesía final del arco atirantado, que con sus 30 metros de luz cierra el pórtico triangular y remata el volumen del tablero rimando con sus formas, constituye un broche indispensable cargado de expresividad en cuanto al papel que desempeña de elemento de cierre y remate del puente de acero.

► UNA OBRA LOGRADA

“Si una obra de ingeniería debe aspirar a satisfacer todo un conjunto de funciones no sólo técnicas, sino sociales, estéticas y culturales —embellecimiento y dignificación del entorno, integración del territorio, reforzamiento del sentido ciudadano y participativo de la gente, y aportación de valores simbólicos que ayuden a reencontrar viejas raíces vitales—, el puente de la Barqueta es un buen ejemplo de obra lograda”, afirman los propios autores.

Al margen de estas consideraciones, la peculiaridad de esta obra reside fundamentalmente en lo innovador de su diseño, con su arco central volando sobre el tablero completamente exento y el contraste entre el color blanco del puente y el rojo de las péndolas.

Hay varios puentes similares en el mundo —uno idéntico en Taiwán y otro de dimensiones más reducidas en un país centroeuropeo—, pero en el momento de su construcción no había ninguno en el que el arco naciera de dos pórticos triangulares en lugar de caer sobre el centro o los bordes del tablero.

En el plano técnico, su limpieza de ejecución en



la orilla del río, sin perturbar sus aguas como era el deseo de la Sociedad Estatal para la Expo 92, y la sencillez de su operación de montaje por flotación y giro constituyen, sin duda, valores añadidos para uno de los puentes más singulares construidos en la última década del siglo XX en nuestro país. También se ha convertido en una obra indispensable del paisaje urbano de Sevilla. ■

Por este puente transitaron todos los materiales necesarios para construir los pabellones de la Expo.

PUENTE DE LA BARQUETA

Situación: Sevilla. Sirve de acceso a la Isla de la Cartuja desde la calle Torneo

Año de construcción: 1990

Tipología: Arco superior (único) alimentado por tablero

Longitud total: 214 m.

Anchura: 21,4 m.

Luz: 168 m.

Péndolas: Tendones compuestos por número variable de cordones (entre 15 y 34) de 0,6 pulgadas, con anclajes finales tipo Hi-Am. Acero galvanizado protegido por vainas

Autores: Apia XXI, Juan José Arenas de Pablo y Marcos J. Pantaleón

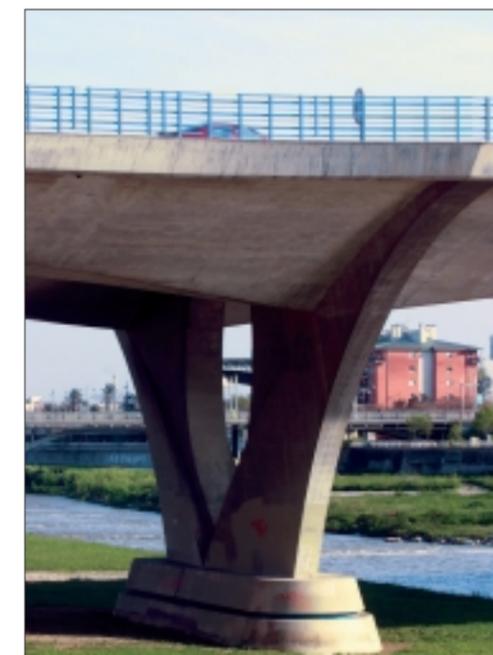


Pureza formal

ELVIRA F. MARTÍN | Fotos: CABALLERO

Un puente de viga continua y canto variable atraviesa un tramo del río Besós, aportando una de las soluciones más sencillas en la historia de la construcción de puentes. Por su simplicidad de formas y su estructura, este puente del ingeniero Leonardo Fernández Troyano se ha convertido en todo un referente viario de los enlaces del gran área metropolitana de Barcelona.

La construcción de este puente sobre el Besós se enmarca en la segunda renovación urbana de Barcelona.



Situado sobre el río Besós, a la altura del nudo de Trinitat de la autovía de circunvalación de Barcelona (B-20), en el segundo cinturón, el puente se adapta como un guante a la configuración del terreno y a la propia morfología del río, permitiendo su paso ampliamente al abarcar cuatro carriles en cada sentido. El proyecto se realizó para el entonces Ministerio de Obras Públicas y Transportes por Leonardo Fernández Troyano y su equipo en 1992, año clave para comprender el desarrollo urbanístico de Barcelona. Fue a partir de los Juegos Olímpicos cuando se empezó a configurar la llamada segunda renovación de la ciudad, que contemplaba, entre otros, el objetivo de valorar la periferia y recuperar el centro. En este contexto, y por la necesidad de creación de nuevos nexos viarios, surge la construcción de este puente sobre el río Besós que, aunque responde a objetivos de conexión de redes, atiende también a la potencialidad de los puentes en su faceta de monumentos de referencia singulares y potentes.

La idea básica en torno a la que se elaboró el proyecto fue la de hacer un puente estructuralmente sencillo y adaptado al máximo a la configuración del extenso tramo del río que debía salvar, teniendo en cuenta, además, que debido a su situación, al borde de la ciudad de Barcelona, debía de tener carácter de puente urbano. Con tres vanos, la luz mayor del puente, con casi 70 metros, no aconsejaba plantear una morfología propia de puentes de grandes luces, por lo que la solución económica y formalmente más viable fue la de viga continua de canto variable. Este tablero continuo de hormigón pretensado, con sección de cajón multicelular, varía desde una sección triangular a una trapezoidal y tiene su máximo en las pilas que entran en el río y el mínimo en el centro y en los laterales. Mediante la búsqueda de formas adecuadas y empujando el tablero en las pilas se han reducido también al mínimo posible las medidas transversales de las mismas, dado que el tablero alcanza los 35 metros de ancho, una medida desacostumbrada para este tipo de estructuras.

► ENCAJE DE LUCES

El río, en el tramo que salva el puente, está canalizado en dos niveles distintos: un cauce mayor para aguas máximas producto de grandes avenidas, con un ancho de 130 metros y delimitado por dos muros de una altura de 5 m.; y otro cauce menor, situado en el centro del anterior, con 20 metros, para aguas que discurren con normalidad. Ajustán-



dose a estos condicionantes, se ha definido el puente de forma que una luz principal central salva el cauce menor y dos luces laterales el cauce mayor, lo que permitió colocar dos pilas en este último y otras dos en los bordes de la canalización. Así se configura la solución de vanos compensados, con una medida para la luz central de aproximadamente el doble de las laterales, quedando la distribución de 35+68,5+ 35 metros para los tres vanos que salvan el río, más unos vanos de acceso en las orillas, para salvar las vías del margen. Estas medidas consiguen una proporción muy adecuada a la relación entre el ancho y el alto que define la plataforma del puente, con una altura de 14 metros sobre el lecho del río y una longitud total del puente de 212 metros.

► **SOLUCIONES SINGULARES**

Una vez definidas las dimensiones, el encaje de luces y la solución de canto variable, la construcción del tablero y las pilas requirió de algunas soluciones singulares.

El puente es una sola viga

El proyecto requería un puente urbano, sencillo y adaptado a la configuración del extenso tramo de río que debía salvar

continua, pero construida en dos fases: la primera abarca el vano lateral del margen derecho y los tres vanos del puente principal, y la segunda los dos vanos restantes del margen izquierdo. Los apoyos de esta viga continua están situados entre las pilas y la cimentación, y han sido protegidos con una junta perimetral de PVC, que puede levantarse para su reparación en caso de ser necesario. Esta situación de los apoyos en la base de la pila constituye una singularidad, pues al ser apoyos con posibilidad de desplazamiento horizontal, los esfuerzos del tablero coinciden con los que requiere la viga continua.

Por otro lado, la anchura del puente obliga a desdoblarse en dos tableros separados por una pequeña abertura central, mientras que la diferencia de anchos de las pilas, que va desde 14 metros en la base hasta 35 metros en el tablero, producía un momento de vuelco notable en las mismas. Esta inclinación se ha resuelto solidarizando los tableros sobre las pilas principales y atirantándolas a través de los ta-



El diseño de las dos pilas centrales acentúa visualmente la sensación de apertura.

bleros mediante un pretensado transversal al puente de aproximadamente 2000 Tn.

La sección transversal del puente es un cajón multicelular en los tres vanos principales y una losa aligerada mediante alveólos circulares en los vanos laterales, éstos de canto constante. Al ser una viga continua de grandes dimensiones, el tablero se ha generado mediante la intersección de cuatro superficies: el trasdós del tablero queda constituido por una superficie plana que define la plataforma de la autopista, y el intradós por tres cilindros de directriz circular. Dos de estos cilindros tienen generatrices paralelas al eje del puente, formando con la plataforma un seudoprisma con sección triangular con dos lados curvos y uno plano, que van a definir la sección de canto máximo del puente. Este prisma se corta a su vez con un tercer cilindro de generatrices perpendiculares a las anteriores y da lugar a la variación de cantos del dintel del vano principal. Así, la sección del tablero en arran-

ques, donde el canto es máximo, es triangular, mientras que en el centro del primer vano la sección es un trapecio con los lados no paralelos en forma curvada. De esta forma el puente adquiere su forma particular: en el vano principal, un tablero de canto muy variable, con canto máximo sobre las pilas de 3,80 m. y canto mínimo en el centro del vano, de 1,42 m. Por su parte, los vanos de compensación se generan por simetría de la mitad del vano central y los laterales de canto constante (1,42 m.) se generarán mediante la transformación del cilindro transversal en un plano paralelo a la plataforma de la autopista.

► **PILAS DISPARES**

Las pilas siguen las mismas variables que los distintos tramos del puente. Por ello, también son distintas entre sí, ubicándose dos principales dentro del cauce, unidas al dintel en los puntos de canto máximo, y tres pilas secundarias, más bajas, ya fuera del cauce, unidas al tramo de canto constante. En las pilas del río, los tableros se apoyan sobre una viga común en forma de V con líneas interiores que parten del centro, acentuando así visualmente la apertura, para ir abriéndose hasta los 35 metros, recogiendo en cabeza el ancho de los dos tableros. Las pilas de los laterales son diferentes, pues ni la altura ni la forma de los tableros permitan una viga común. Por ello cada línea de apoyo se ha dividido en dos, proporcionando una pila para cada tablero pero conservando la misma idea estética de las pilas principales: estrechas en la base y abiertas en la cabeza.

Por último, los estribos se han realizado mediante paramentos planos y cilíndricos, reproduciendo las mismas formas del dintel. ■

PUENTE SOBRE EL RÍO BESÓS

Situación: Sobre el río Besós, en el nudo Trinitat de la autopista de circunvalación de Barcelona (B-20)
Año: Inaugurado en 1992
Longitud: 212 m.
Luces: 35+68,5+35 m.
Autor: Leonardo Fernández Troyano



Cálculo e imaginación

ELVIRA F. MARTÍN | Fotos: CABALLERO

El puente de la Alameda sobre el cauce del río Turia constituye uno de los ejemplos más destacados del empleo de arco parabólico en los puentes de Santiago Calatrava. La obra, sobria y esbelta, se integra perfectamente en el ambiente mediterráneo de la capital valenciana. Situado sobre la estación de la Alameda, obra también del arquitecto, el puente forma un armónico conjunto gracias a la estrecha relación formal entre los dos elementos que lo componen.

Este puente, en el que algunos han visto la metáfora de un dinosaurio, se integra a la perfección en el ambiente urbano de Valencia.

Arquitectura, ingeniería, escultura, pintura... la íntima relación entre la obra artística y las creaciones arquitectónicas de Santiago Calatrava queda patente al contemplar sus esbozos y composiciones estructurales, como él mismo denomina a sus esculturas, esas mismas que, en la intimidad de su estudio, revelan y anuncian el puente inusual, la sorprendente estación o la inquietante torre: las estructuras que más tarde se levantarán majestuosas en el entorno urbano transformando su línea del cielo y su perfil.

El interés manifiesto del arquitecto en la fusión de distintas disciplinas y en la búsqueda de libertad en la creación ha convertido su obra, e in-

cluso a su persona, en un foco permanente de polémica y discusión en el mundo de la arquitectura y la construcción. Con todo, sus creaciones, no exentas de críticas y sin embargo muy premiadas, se extienden por las ciudades de medio mundo identificándolas con su impronta vanguardista. Así, el diseño de puentes, que hasta hace pocas décadas estaba reservado al mundo de la ingeniería, cobra una nueva dimensión gracias a la original combinación de soluciones estructurales, formales y conceptuales surgidas de la creatividad revolucionaria del arquitecto valenciano. Por ello, muchas de las obras de Calatrava se catalogan como singulares y entre ellas destacan los puentes, muy abundantes en su currículum. Valencia, tierra natal del arquitecto, también cuenta con dos de



sus puentes, el puente 9 de Octubre y el de la Alameda, además de construcciones tan emblemáticas como las que forman la Ciudad de las Artes y las Ciencias.

► **JUEGO DE FUERZAS**

El puente de la Alameda, popularmente bautizado como La Peineta y también conocido como puente de la Exposición, fue construido por Santiago Calatrava sobre el cauce, hoy seco y convertido en jardines, del valenciano río Turia, entre los años 1991 y 1995, e inaugurado en mayo de ese último año. El proyecto, que fue adjudicado por concurso convocado en 1991 por la COPUT (Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte de Valencia), forma parte de un conjunto unitario de impactante estética que engloba, además de la urbanización de ese tramo del cauce del río, la construcción de dos elementos singulares: la estación de La Peineta, para la ampliación de las líneas 3 y 5 del metro de Valencia, y el propio puente, que resulta el elemento más espectacular del conjunto y en cuya forma algunos han querido ver la metáfora de un dinosaurio, emergiendo de la tierra y clavando sus patas en la propia estación. La construcción de la estación y del puente se realizó de manera simultánea. Para hacer esto posible, el puente se realizó en terrenos próximos para ser trasladado posteriormente a su emplazamiento definitivo sobre la estación y uniendo ambos márgenes del río.

De los tres aspectos que permiten actuar en el diseño de un puente –las fuerzas simétricas o asimétricas en su arco, el trabajo de los arcos en su tensión

y el de las columnas como soporte de los arcos– en este puente Calatrava deja patente el resultado de su larga investigación sobre el arco tirante. El juego de la tensión y la flexión están presentes en él lo mismo que lo estarían en una estructura orgánica.

Este puente, de 163,18 metros de longitud y situado entre los muros de encauzamiento del río, está coronado por un único arco parabólico de acero pintado en blanco, realizado con dos tubos de distinto grosor con nervaduras triangulares y unidos a un plato superior. El arco se eleva 14 metros de altura desde el plano del tablero hasta la cúspide y tiene una inclinación de 70 grados.

Por su parte, la armadura está suspendida del arco mediante perfiles con gran flexión, colocados a intervalos regulares de 5,84 metros, lo que asegura a su vez la estabilidad del mismo. Con 26 metros de longitud y ligeramente curva, esta armadura está compuesta por una viga en cajón de acero, fortalecida en el interior por una división en cuatro celdas en la parte de la calzada y por ménsulas laterales de apoyo, para soporte de los carriles peatonales. De los extremos de la armadura parten los tramos isostáticos,



Vanguardismo y originalidad están presentes en ésta y en otras obras de Santiago Calatrava.



también metálicos, que se apoyan sobre los muros de contención de la plaza que queda bajo el puente y cubren una luz de 16,67 metros.

Esta plaza, de 9.000 m², a la que se accede desde el puente por rampas y escaleras, es también parte de la cubierta de la propia estación de la Alameda, que se sitúa bajo el mismo eje del puente. Así, la pavimentación de la plaza, en cemento armado visto de color blanco y formada por figuras romboidales que encierra paneles de cemento o cristal, es a la vez la cubierta de la estación, que se apoya en muros longitudinales de contención y en puntales de distintas secciones.

El interior de la estación, a una profundidad de 27,65 metros, se organiza en tres andenes: dos laterales de 4 m. de ancho y uno central de 7,55 m. Por los extremos, los andenes laterales se ensanchan para dar cabida a los vestíbulos y los accesos a las

correspondientes escaleras. Los vestíbulos quedan definidos por nervaduras también en cemento armado blanco soportados por la viga de sustentación del puente y por los muros transversales de los colectores, mientras en la zona de andenes una serie de aperturas en el techo, separadas entre sí de nuevo a 5,84 metros, proporcionan iluminación natural y ventilación a la singular estación.

En este proyecto de puente y estación, Calatrava consigue preservar la independencia de ambos elementos manteniendo la relación en el estilo de los espacios, se ocupó de diseñar incluso los detalles menores, desde la iluminación hasta los bancos, las papeleras o los cierres hidráulicos para las puertas de entrada.

► **LOS PUENTES HACEN CIUDAD**

Como sucede con otras de sus obras, Calatrava identifica este proyecto del puente de la Alameda como una forma de "hacer ciudad", al considerar que el puente es un elemento clave del urbanismo, capaz de cambiar la atmósfera de una ciudad o de un barrio, y especialmente singular por su función social, ya que es accesible para todos. Y es que prácticamente en cada ciudad en la que Santiago Calatrava ha construido un puente, éste acaba llamándose "el puente de Calatrava", en lugar del nombre que recibió en el proyecto original. Esta identificación de la ciudad con su puente es quizá lo que el propio arquitecto persigue cuando habla de hacer ciudad. Así, el genial arquitecto considerado también todo un especialista en el diseño de puentes, ha ido sembrando con su estética innovadora las ciudades, dentro y fuera de nuestro país, Prueba de ello son algunas de sus creaciones más singulares, como el puente del Alamillo, de Sevilla; el de Oudry Mesly, en Creteil; el Lusitana, en la ciudad de Mérida; el Bac de Roda, en Barcelona; o el Turtle Bay, de Redding.

Santiago Calatrava deja patente en este puente sus investigaciones sobre el arco tirante

Constructor de metáforas, trasgresor, innovador, revolucionario, polémico, talento precoz... son sólo algunos de los calificativos usados para referirse a Santiago Calatrava y a su obra. Este arquitecto valenciano, con su original concepción del volumen y el empleo de nuevos materiales, ha alcanzado un merecido prestigio internacional en un lapso de tiempo desacostum-

brado en el mundo de la arquitectura, lo que puso de relevancia el hecho de haber recibido, entre otros muchos premios, el Príncipe de Asturias de la Artes en 1999, a los 48 años de edad.

Nacido en Benimamet (Valencia) en 1951, la carrera de Santiago Calatrava y Valls puede calificarse de meteórica. Así, a sus estudios de juventud en la Escuela de Bellas Artes sumó los de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia y aun los de Ingeniería Civil en la ETH, doctorándose entre 1979-1981 en Ciencias Técnicas por el Departamento de Arquitectura de la ETH con la tesis *Acerca de la plegabilidad de las estructuras*. En ese mismo año, 1981, abre en Zurich (Suiza) su primer estudio de arquitectura e ingeniería civil, y ocho años más tarde abriría otro en París. A partir de 1987 comienza a recibir una cascada de premios de reconocimiento a su obra y su carrera, entre los que destacan el Premio Auguste Perret UIA (Union Internacional de Arquitectos), de París; el de Arte de Barcelona; el Internationale Vereinigung für Brückenbau, en Suiza; el FAD (Fomento de las Artes y el Diseño, en España); el Fritz Schumacher, en Alemania; o el *Aurzeichnung für gute Bauten*, de 1991, concedido por la ciudad de Zurich a raíz de la construcción de la estación de ferrocarril Stadelhofen.

Nombrado también miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, en 1992, recibe distintos premios y nombramientos honoríficos, como doctor *honoris causa* por la Universidad Politécnica de Valencia (1993) y por la Universidad de Sevilla (1994).

Entre sus exposiciones destacan las monográficas en la Universidad de Columbia, Nueva York, San Luis, Chicago, Los Angeles, Toronto, Montreal y Helsinki, o sus participaciones en el Suomen Rakennustaitteen, en Helsinki; en el Royal Institute of British Architects de Londres (1992); en el Instituto alemán de Arquitectura de Rotterdam; en el Deustches Museum (1992), o en el MOMA de Nueva York (1992).

Calatrava ha intervenido en las Exposiciones Universales de Sevilla 92 —con el viaducto que cruza la Isla de la Cartuja, el puente atirantado del Alamillo y el pabellón de Kuwait— y de Lisboa 98, con la estación de ferrocarriles de Oriente. Otras de sus obras españolas destacadas son: la torre del aeropuerto de Sondika (Bilbao); la torre de comunicaciones de Montjuic (Barcelona); la Ciudad de las Artes y las Ciencias (Valencia), uno de los com-



Parte inferior y superior del tablero del puente.

plejos culturales y científicos más importantes de Europa constituido por un conjunto de edificios singulares (l'Hemisferic, el Museo Príncipe Felipe, el Museo de las Artes y el Parque Oceanográfico).

La lista de sus obras es interminable, lo mismo que la de sus premios, y más cercano en el tiempo son Tenerife Opera House, en las islas Canarias, o el nuevo estadio olímpico de Atenas, donde ha vuelto a marcar con su impronta inconfundible la enorme cúpula que será la cubierta de los graderíos. ■

PUENTE DE LA ALAMEDA

Situación: En Valencia, sobre el Turia, junto a la estación de metro de La Peineta

Año de construcción: Finalizado en 1995

Longitud: 163,8 m.

Máxima luz bajo tablero: 160 m.

Autor: Santiago Calatrava



A ras de la ría

JOSÉ I. RODRÍGUEZ | Fotos: M. D. CORDERO

El origen de Pontevedra fue seguramente portuario, en la orilla del río Lérez, aprovechando su último meandro, ya en la ría. Es, por tanto, una ciudad con una larga tradición de puentes, el último de los cuales, el quinto, se inauguró en 1995. Esta esbelta obra de ingeniería salva la ría a muy poca altura con una sola luz de 126 metros, con apoyos en las dos orillas y una estructura atirantada sustentada por una sola torre.

La singularidad del puente reside en su única torre, de 63 m. de altura, y en los tres haces de tirantes.



El nombre de Pontevedra es una derivación de “Ponte Veteris”, el puente viejo de piedra del burgo que figura en el escudo de una ciudad tan ligada a sus puentes. Y si el escudo de esta urbe gallega es un puente con cuatro ojos y dos torres sobre él, el nuevo puente, proyectado por Leonardo Fernández Troyano e inaugurado en junio de 1995, cuenta con un solo ojo y una sola torre, un contraste que es fiel reflejo de la evolución de este tipo de infraestructuras a lo largo de la historia.

La ciudad ha ido creciendo en ambas orillas, remontando la ría y, aunque en 1982 se levantó el puente de Santiago y en 1992 el de la autopista del Atlántico, en 1995 se construyó el nuevo puente, el quinto de Pontevedra, que, además de ser urbano, sirve de circunvalación. Este porque comunica la carretera de Ourense con la de Santiago y con la Autopista Vigo-Santiago sin necesidad de entrar en el núcleo urbano.



La ría, en el lugar por donde la cruza el puente, cuenta con un cauce de gran anchura –126 metros una vez regularizado– lleno de agua de orilla a orilla, salvo con la marea baja. Al encontrarse en una zona urbana, ha sido preciso situar el puente a muy poca altura sobre el nivel del agua con el fin de equiparar su cota al mismo nivel de las calles de las dos orillas. Puede decirse que la pequeña altura del puente sobre las aguas máximas de la marea, que en este punto alcanza toda su amplitud, y la fuerte oscilación de la misma han sido dos condicionantes fundamentales en el diseño del puente.

A partir de esas premisas, el ingeniero Leonardo Fernández Troyano ha proyectado un puente que salva la ría con un solo vano, sin pilas intermedias que perturben la lámina de agua y con un tablero de canto mínimo. La luz, grande, sin ser excesiva, y el canto mínimo han obligado a que la estructura que soporta el tablero esté situada por encima de él. Y entre las distintas posibilidades, el autor ha optado por la atirantada



ya que, en opinión de los proyectistas, es la más actual de todas ellas, la que mejor encajaba en el lugar y la que permitía construir un puente más expresivo.

► **LA MAGIA DE LOS TIRANTES**

Y para acentuar esa expresividad formal se puso el acento en los tirantes y en la torre, que son los elementos más visuales del conjunto. Para ello se empleó un atirantamiento espacial, formado por tres haces divergentes en planta. Los haces traseros forman paraboloides hiperbólicos, que constituyen una de las superficies más sugestivas que se utilizan en construcción. Además, esta disposición en paraboloides ofrece perspectivas cambiantes y atractivas a los tirantes según el punto de observación; incluso la visión de los dos haces varía si el lugar desde el que se contempla no se encuentra en el eje de simetría.

El puente es claramente singular entre los atirantados, con un solo vano claramente definido de 126 metros de luz y 20 de ancho, sin compensaciones en las márgenes, atirantado desde una sola torre situada en la margen izquierda, del lado de la ciudad histórica.

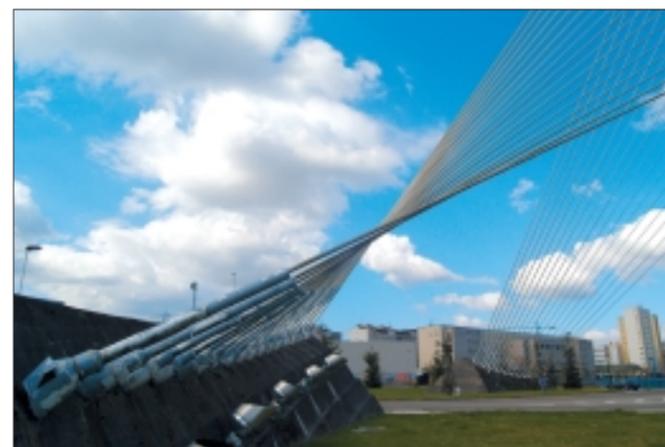
Los contrapesos están situados a los lados de la calzada, por lo que los tirantes de compensación se abren en dos haces divergentes y pasan sobre las calzadas que salen del puente, creando una sim-

bólica puerta de entrada a la margen izquierda, donde nació la ciudad.

Los dos haces de tirantes delanteros se anclan en la mediana del tablero, por lo que el comportamiento longitudinal del dintel es el de una viga con apoyos elásticos en el eje cada seis metros, sin coacción ninguna a torsión, que se transmite a los extremos del puente donde los apoyos situados en los bordes del tablero se estabilizan.

Su comportamiento transversal es el de una doble ménsula de diez metros de vuelo, apoyada en los anclajes de los tirantes que están situados en el centro del tablero. En estas condiciones, se ha optado por un cajón monocelular, con voladizos laterales grandes, triangulado interior y exteriormente, cada tres metros, mediante costillas aligeradas.

La situación de las plazas en los extremos del puente ha obligado a ensanchar el tablero en las proximidades de los apoyos mediante curvas de acuerdo con las calles de ribera.



El puente salva la ría a escasa altura con un solo vano, sin pilas intermedias.

También se ha ensanchado el cajón, paralelamente a los bordes del tablero, mientras que las costillas en la zona de ensanche van girando, manteniéndose perpendiculares al borde.

La única torre del puente sirve de anclaje a los tirantes delanteros, que soportan el tablero, y a los de compensación, cuya misión es transformar el tiro de esos tirantes delanteros en una fuerza axial en la torre, reduciendo al mínimo los esfuerzos de flexión en ella.

Para ello, la torre tiene doble inclinación: hacia tierra sobre el tablero y hacia el agua bajo él. Esta doble inclinación se debe, en principio, al equilibrio de fuerzas que actúan sobre ella pero, además, a que mejora sensiblemente la composición del conjunto tirantes-torre-contrapesos.

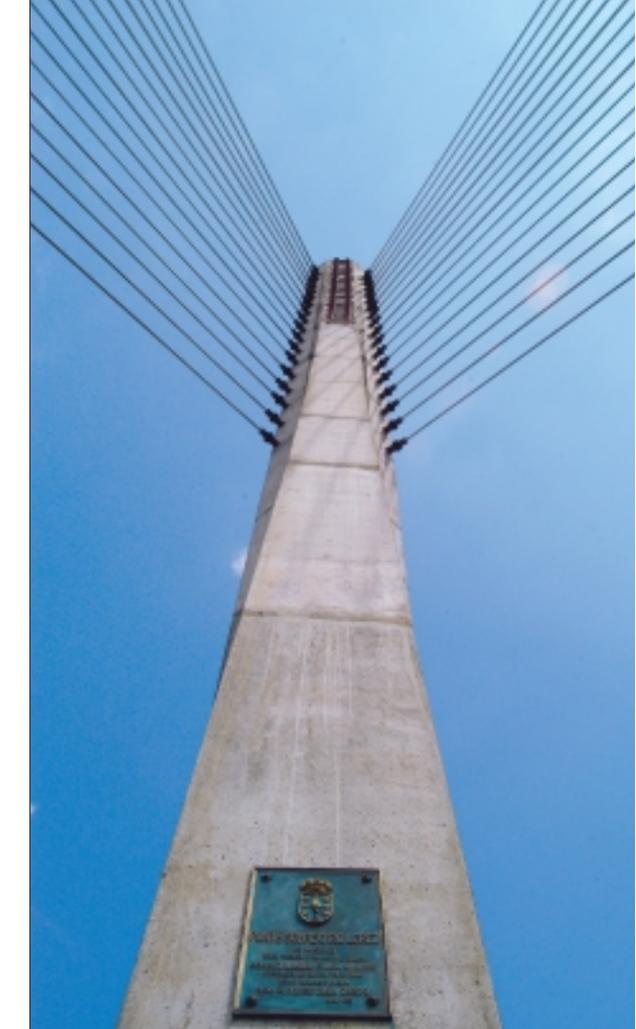
► **SECCIÓN Y CIMIENTOS DE LA TORRE**

Por otro lado, la sección de la torre es un cajón bicelular en la base y una T irregular en la mayor parte de su altura, en cuyo tramo superior se anclan los cuatro haces de tirantes, dispuestos de manera que no haya cruces en planta entre los delanteros y los traseros. Los primeros, que son paralelos, se anclan en el extremo de la pata de la T, y los traseros, a la cabeza.

La torre está cimentada mediante 24 pilotes de 1,5 metros de diámetro, que se empotran en el granito sano. Como la zapata (11x17x35 m.) que recoge los pilotes debía quedar por debajo de las aguas mínimas, fue necesario construir un recinto circular de tablestacas alrededor, con el fin de bajar a 9 metros de profundidad bajo las aguas máximas y así poder descabezar los pilotes y hormigonar.

En cuanto a los contrapesos que sirven de anclaje a los tirantes traseros, se trata de unos plintos de hormigón de sección casi triangular y plante seudorectangular con dos lados curvos. Tienen una galería interior donde se alojan los anclajes de los tirantes, lo que permitió actuar en ellos durante la construcción y, en caso de que fuera necesario, sustituir alguno de ellos.

Así, la resultante de las fuerzas de los tirantes traseros del puente es una fuerza inclinada que debe ser resistida por los contrapesos. La



fuerza vertical se compensa mediante el peso de los contrapesos y mediante anclajes pretensados a la roca. La fuerza horizontal, por su parte, se equilibra mediante unas vigas de unión entre los contrapesos y la zapata de la torre, cerrándose con ellas el polígono de fuerzas que forman los tirantes, el tablero, la torre, los contrapesos y estas vigas de unión.

La construcción de la torre se realizó con un encofrado trepador en fases de 4 metros de altura, mientras que el tablero se construyó por voladizos sucesivos atirantados, avanzando de tirante a tirante con dovelas de 6 metros de longitud, hormigonadas *in situ* sobre un carro de avance. De esta manera se llegó hasta el último tirante, donde se empalmó el voladizo con la zona adyacente al estribo ya construido.

Los haces divergentes de los tirantes resaltan la expresividad formal del puente, su imagen de puerta de acceso a la ciudad

Con todo, el tablero tiene una luz libre de 126 me-



tros y un ancho total de 20 m. Está formado por un cajón monocelular de 7 metros de fondo y 2 de canto, triangulado interior y exteriormente mediante cuchillos cada 3 metros. La altura de la torre desde los cimientos es de 63 metros y de 56 m. desde el tablero, mientras que su ancho es de 3,74 metros. Los contrapesos tienen una planta de 9x28 metros y una altura variable de 5 a 3,5 metros. Cuenta con cuatro haces de 17 tirantes formados por cables de 0,6" galvanizados y protegidos individualmente con vainas de PVC blanco; además, el número de cables por tirante, que se anclan en el tablero cada 6 metros, varía de 8 a 31.

De noche, la iluminación de la torre, de los tirantes y del tablero permiten ver el reflejo del quinto puente de Pontevedra, proyectado por el ingeniero Leonardo Fernández Troyano, en las aguas del río Lérez.

► FERNÁNDEZ TROYANO

Nacido en Madrid en 1938, finalizó la carrera de ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en 1963 y se doctoró en 1965. Ha sido profesor encargado de la asignatura de Puentes y profesor de doctorado de la asignatura de Puentes atirantados en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, entre 1968 y 1980. Es autor, entre otros, de los libros *Los pasos históricos de la Sierra de Guadarrama* y *Tierra sobre el agua. Una visión histórica universal de los puentes*.

Entre los proyectos en que ha participado destacan los siguientes: puente de Castejón sobre el Ebro (1967); pasarela de las Glorias Catalanas, en Barcelona (1974); puente de Sancho el Mayor sobre el Ebro (1978); puente de Metlac, en México (1984); puentes colgantes ligeros sobre el Segre (1985); puente sobre el río Besós, en Barcelona (1992); puente sobre el río Papaloapán, en México (1994); y puente sobre el río Lérez, en Pontevedra (1995). Ha trabajado también en proyectos de reconstrucciones, restauraciones y recalces de puentes históricos. ■

Los tirantes conforman uno de los elementos más visuales del puente.

PUENTE SOBRE EL RÍO LÉREZ

Situación: Sobre la ría de Pontevedra, en la circunvalación Este y accesos a la autopista Vigo-Santiago
Año de construcción: Finalizado en 1995

Tipología: Atirantado

Luz: 126 m.

Anchura de tablero: 20 m.

Autor del proyecto: Leonardo Fernández Troyano en colaboración con Javier Manterola, Miguel Ángel Astiz, José Cuervo, Javier Muñoz-Rojas y Agustín Sevilla



Integrado en el valle

PEPA MARTÍN | FOTOS: M. D. CORDERO

Esta impresionante estructura en forma de arco, que recibió el Premio Internacional Puente de Alcántara 1996-98, permite atravesar un valle profundo hasta la carretera que une Asturias y Galicia en perfecta simbiosis con el paisaje y sin ocasionar daños a la masa arbórea de sus laderas.

El arco de La Regenta, que surge de las laderas montañosas, transmite un sentimiento de reposo y seguridad.



La carretera cruza la garganta del río Cabo, a unos 105 metros de altura sobre su cota de fondo, cubriendo una brecha de unos 380 metros de abertura. El valle ofrece una sección en V, con laderas que forman con la horizontal un ángulo entre 30 y 35 grados y que se componen básicamente de pizarras y rocas cuarcíticas. Con esta configuración geométrica y geotécnica, los ingenieros concibieron la idea de salvar el cruce mediante un viaducto de arco del tipo tablero superior de hormigón armado, dando solución al cruce de la carretera CN-634 sobre el río Cabo entre Novellana y Cadavedo (Asturias).

El encaje paisajístico de un arco en un valle con perfil en V resultaba para los ingenieros más satisfactorio que el de un puente de tramo recto. De hecho, se erigió como suma de dos grandes voladizos con tirantes provisionales que hicieron innecesaria cualquier cimbra apoyada en el fondo del valle, protegiendo de esta forma la masa arbórea que colorea sus laderas.

También la calidad superficial de las rocas que lo configuran les hicieron pensar que era un caso claro de encaje limpio de arco de gran luz del que acabó resultando una bóveda de 194 metros de luz teórica. Con una flecha en clave de 50 metros —una relación luz/flecha por debajo de 4, que lo configura como arco peraltado—, pasa holgadamente por encima de los dos brazos que forma la antigua carretera al contornear el valle del Cabo.

Al salvar el arco el gran hueco central del valle, el viaducto se concibe en su totalidad como un tramo recto continuo constituido por sucesivos vanos. Son en total 21, cada uno de ellos de 18,20 metros de luz, de los cuales los 11 centrales apoyan sobre el arco en lugar de hacerlo sobre el suelo, reemplazando de ese modo al valle profundo y desempeñando el papel de suelo artificial. Hay, por lo tanto, veinte pilas, diez sobre el arco y otras tantas fuera de él, que soportan el tablero de sección mixta de 12 metros de anchura. Todas ellas son de hormigón armado, de sección rectangular constante de 6,5 metros por un ancho variable entre 0,8 y 1,2 metros según la altura.

La directriz del arco se compone de otros tres arcos de 110 metros en clave, 135 en riñones y 175 en apoyos, cuyos radios y desarrollos fueron cuidadosamente analizados y combinados para obtener el mejor encaje visual con el entorno.



J. ARENAS DE PABLO

El tablero está formado por un cajón metálico de 6,5 x 1,40 metros y una losa de hormigón de 12 metros de anchura y espesor variable entre 25 y 40 centímetros. Está prevista una posible ampliación futura hasta alcanzar una anchura total de 22 metros mediante la simple extensión de los voladizos y el refuerzo mediante unos jabalcoes metálicos colocados inferiormente a la losa y soldados al cajón.

► **AVANCE EN VOLADIZO**

El procedimiento constructivo fue el de avance en voladizo que, al eliminar la cimbra y los apoyos provisionales, permite una total protección al medio ambiente. El arco se ejecutó por dovelas sucesivas, por medio de un carro de avance. La obra se completó mediante pilas y vanos de tablero con un decalaje de un vano.

Esto fue posible gracias a un sistema de triangulación por medio de diagonales provisionales compuestas por cajones de acero estructural anclados en el diafragma, y tensados desde el refuerzo

del tablero metálico en cada etapa a una carga determinada a través de gatos hidráulicos. La tracción de los tirantes provisionales era recogida por el tablero, que funcionó durante la ejecución como un dintel traccionado y amarrado longitudinalmente al estribo final.

La apertura en clave se realizó mediante un conjunto de ocho gatos hidráulicos que aplicaron una fuerza de 4.100 toneladas. Para ello se dispuso entre los dos semiarcos una estructura a modo de llave que impedía el movimiento vertical relativo entre ambos.

Una vez destensados los tirantes provisionales y hormigonada la clave, se procedió a colocar los tres cajones metálicos correspondientes al tramo central del tablero. Éste, a su vez, se hormigonó mediante carros autoencofrantes de 22 metros de longitud de forma simétrica desde ambos estribos.

El hormigón se fabricó en dos plantas,



J. ARENAS DE PABLO



Vistas del puente y de una fase de su construcción, ejecutada por voladizos sucesivos.

una Intrame y una Cemex, automáticas y con dosificación ponderal de materiales, con una producción máxima conjunta de 60 m³/h. Se utilizaron áridos de naturaleza silíceas y dos tipos de cementos, así como un aditivo plastificante en planta para obtener un cono de entre 3 y 4 centímetros, y un aditivo superplastificante en obra para alcanzar la consistencia precisa, que llegó a ser de 17 centímetros en el hormigonado de los elementos estructurales más complejos.

Esta estructura se planteó de forma que su tablero resultara ampliable y que su subestructura (pilas, arco y cimentaciones) fuera capaz de soportarla, teniendo en cuenta que en un futuro se ampliaría la carretera a autovía. Duplicarla construyendo otra idéntica y paralela no era una solución adecuada, tanto desde el punto de vista económico como estético.

Por ello, el arco se diseñó como

sección cajón bicelular de hormigón armado, compuesta por tres almas más las tablas superior e inferior cuyo ancho es, a todo lo largo, de 10,50 metros. Su canto varía desde los 420 centímetros en los arranques hasta los 240 centímetros en la sección de clave.

Esta sección, con almas de 40 cm. y tablas entre 30 y 24 cm., resulta ligera y de alto rendimiento en términos mecánicos, lo que supone mejor respuesta o mayor tolerancia del arco para aceptar compresiones excéntricas sin que ninguna de sus fibras sufra tracciones.

► **PILAS ALTAS Y ESBELTAS**

En lugar de partir de un eje que fuera antifunicular perfecto de las cargas permanentes y buscando una geometría de arco simplificada al máximo, la directriz se compuso mediante cinco arcos circulares. Buscando la máxima sencillez formal, las pilas se plantearon de sección rectangular, macizas, con un canto igual para todas, de 6 metros y medio en sentido transversal al puente, y, según su alzado, con el canto mínimo que los ingenieros fueron capaces de justificar y que se atrevieron a aceptar.

Esto se explica tanto por una cuestión estética como por el peso muerto que esas pilas suponen para el arco, y que conviene reducir todo lo posible. Pero, además, por el hecho de que en este tipo de puentes importa que esas pilas resulten suficientemente flexibles para minimizar esfuerzos secundarios debidos al acortamiento del tablero por retracción y descenso térmico.

En este caso, plantearon gruesos de 80 centímetros para las 4 pilas centrales, 1 metro para las siguientes y 120 centímetros para las de arranques del arco. Espesor o canto que, con su altura de unos 52 metros, confiere a estas últimas pilas una esbeltez mecánica y visual realmente notable.

Para sus creadores, el encaje paisajístico de un arco en un valle con perfil en V era más satisfactorio que el de un puente de tramo recto

A partir de diafragmas internos, las pilas nacen del arco y prolongan su volumen por el interior, macizándolo en una cierta longitud. Son tabiques que disponen de pasos de hombre para hacer posible la inspección futura por el interior del arco y que sirven, además, para anclar en

ellos los tirantes provisionales que han permitido construir la bóveda.

La vinculación existente entre cabezas de pila y fondo del tablero es variable entre unas y otras. Sobre estribos finales y en pilas extremas se han dispuesto aparatos de apoyo deslizantes, placas elásticas de neopreno zunchado en pilas intermedias y, en el caso de las pilas de gran altura, rótulas fijas que permiten giros relativos pero no desplazamientos de su cabeza respecto al tablero.

► TABLERO AMPLIABLE

Con un ancho de 12 metros, el tablero funciona actualmente con dos carriles de circulación más arcenes. En el futuro, cuando esta carretera pase a ser autovía, su plataforma alcanzará los 22 metros, por lo que habrá que ampliar cinco metros por cada lado. Es por ello que el tablero se planteó como estructura de sección mixta acero-hormigón.

De esta forma, permite el ensanche futuro por medio de diafragmas internos extensibles hacia el exterior mediante soldadura, ventaja a la que se añade resistir durante la construcción los esfuerzos de tracción que impone al tablero el procedimiento constructivo. Se suma a ello la facilidad con que vanos completos de estructura metálica de 18 metros, muy ligeros, se montaban con grúa, permitiendo el avance a la fase siguiente de la obra.

Aspectos importantes para la calidad estética del puente son la relación que se establece entre el arco y el tablero en la zona de clave, las distancias entre las pilas sobre el arco en relación a la luz de éste y el ritmo que esas pilas forman en las zonas laterales del puente sobre laderas del valle.

Los autores plantearon aquí una sucesión continua de luces iguales, tanto sobre laderas como sobre arco, lo que, en opinión de los ingenieros, ha conducido a subrayar la integridad de la obra y a destacar el papel del arco como suelo de apoyo artificial del tablero.

Por otro lado, decidieron no colocar pila en la sección de clave sino, al contrario, hacer que la clave del arco coincidiera con el centro de vano del tramo central del tablero. También estudiaron con



cuidado la altura a dejar entre arco y tablero en la sección de clave, hueco vertical que condiciona fuertemente la imagen del puente.

Como obra terminada, el arco transmite un sentimiento profundo de reposo y seguridad que se deriva de la masa y forma del arco y de la naturalidad del mecanismo resistente que la bóveda compone. A ello hay que añadir la ventaja que supone un estado permanente de compresión en el arco, en lo que a su durabilidad respecta, una cuestión de suma importancia en las grandes obras públicas. ■

Vista del arco y de sus esbeltas pilas desde la parte inferior del puente.

PUENTE DE LA REGENTA

Situación: En la CN-634, en el valle del río Cabo, costa occidental de Asturias

Año de construcción: 1995

Tipología: Puente arco de tablero superior de hormigón armado

Longitud: 381,60 m.

Anchura: 12 m, ampliable a 22 m.

Luz principal: 194 m.

Autores: Juan Arenas de Pablo y Marcos Pantaleón



Puerta de entrada a las Alpujarras

El rojo metal del puente arco de Tablate salva la vaguada y destaca sobre el paisaje rocoso y verde.



LUIS GUIJARRO | **FOTOS: CABALLERO**

Construido en una tipología estructural, la del arco metálico, que se encontraba algo relegada en los últimos años del siglo XX, el puente de Tablate (Granada) sintetiza una gran parte de la filosofía de su creador, Javier Rui-Wamba, que combina en sus diversas obras de ingeniería valores como el humanismo y el medio ambiente.

El puente de Tablate se encuentra en el itinerario que une Granada, al pie de Sierra Nevada, con el soleado Motril mediterráneo, en la CN-323, junto al mítico puente que fue escenario en el siglo XVI de combates entre tropas cristianas y moriscas y cerca de otra estructura metálica. Cruza sobre una vaguada que alcanza los 100 metros de profundidad en un territorio de geografía tortuosa, de geología problemática –propicia a los deslizamientos– y en un área de alto riesgo sísmico.

Con estos precedentes, es lógico que en éste y en otros proyectos, sobre todo de obras públicas y de ingeniería, haya cada vez más profesionales implicados, cada uno en su respectiva especialidad. “En efecto –comenta Javier Rui-Wamba, presidente de Esteyco, sociedad responsable de este proyecto–, ingenieros, físicos y expertos en medio ambiente, entre otros, trabajan juntos para un mejor proyecto, incorporando las diferentes sensibilidades y experiencias”. Los aspectos relacionados con el entorno y con el medio ambiente tienen una creciente importancia dentro de cualquier iniciativa; por eso, Rui-Wamba afirma que “no ha habido en la historia de la Humanidad una obra bien hecha que no haya sido respetuosa con el medio ambiente”.

Según afirma, “proyectar bien consiste en tener en cuenta todos los condicionantes que existen. Se debe enunciar el problema y por eso el puente debe ser parte del itinerario, integrarse en el paisaje, estando también al servicio de los que lo ven”.

El puente de Tablate, en palabras de su creador, “se concibió y construyó tal como estaba proyectado, con dos arcos metálicos de 142 metros de luz, cimentados en zapatas que descansan en las lade-



ras del barranco. Los arcos tienen geometrías parabólicas con flecha central de 25 metros. Cada arco está constituido por un cajón rectangular de 2 metros de canto y 1,20 m. de ancho, con diafragmas y rigidizadores interiores. Transversalmente, los arcos van unidos por vigas al cajón de sección rectangular, conformando una estructura tipo Viendeel que asegura su estabilidad transversal frente a las acciones del tráfico y el sismo”.

Cuando se sigue la explicación de este ingeniero se entiende por qué le da tanta importancia a lo que él denomina la “épica de la construcción”. De los arcos nacen 14 parejas de pilas metálicas de sección cuadrada de 500x500 mm., cuya altura máxima es de unos 25 metros, y van decreciendo a medida que se aproximan a la clave del arco. Las parejas de pilares que brotan del cimiento que comparten con el arco están arriostradas con cruces de San Andrés, para dotar de rigidez transversal a la estructura.

“En la coronación de los pilares —explica el ingeniero— se disponen vigas metálicas en cajón que se integran con la parte central de los arcos metálicos y, por el otro extremo, se prolongan hasta el estribo. Las vigas son cajones metálicos de 1x 0,50 metros, que aumentan de canto hasta 1,70 m. sobre la última pila para poder salvar el vano lateral de unos 30 metros de luz, sin requerir pilas intermedias, evitando así problemáticas cimentaciones a media ladera. Entre las vigas en cajón longitudinales se disponen vigas armadas transversales de 1 metro de canto”.

El tablero de hormigón armado “se hizo solidario tanto con las vigas longitudinales como con las transversales, formando, por tanto, un elemento de gran rigidez horizontal. El tablero apoya en los estribos de hormigón armado, cimentados en el terreno, en el que se han dispuesto cajetines para albergar el tope metálico, que es un apéndice de la última viga transversal en los bordes del tablero”, explica Javier Rui-Wamba. En su autorizada opinión, no se deben ignorar todos estos aspectos, “porque cuando se ignora algún paso la realidad prepara siempre su venganza”.

El montaje del puente se hizo en poco más de tres meses con la ayuda de potentes grúas

► **CONTROLES GEOMÉTRICOS**

El montaje del puente se hizo en poco más de tres meses con la ayuda de potentes grúas. Porque es bien cierto que las cosas cada vez se han hecho más complejas pero, “felizmente, cada día conocemos más y todos aportamos más cosas”, explica Rui-Wamba. Así, las piezas del puente se trasladaron desde los talleres que la empresa Entrecanales posee en Torrejón (Madrid), con las máximas dimensiones que permitía el transporte por carretera y la accesibilidad a las plataformas de trabajo creadas junto a los cimientos de los arcos.



El puente convive junto a otro arco gemelo, parte de cuya estructura se aprecia en la foto de la página opuesta.

Aprovechando las plataformas de trabajo se instalaron puntales provisionales que facilitaron el montaje de los semiarcos, dejándose una dovela central de cierre de unos 30 cm. de anchura. Ésta se acabó soldando tras haber ajustado la geometría de los arcos con ayuda de gatos, dispuestos entre los semiarcos y que permitieron ajustes geométricos y la elevación de algunas decenas de centímetros para dejar, tras su cierre, los arcos con las geometrías especificadas. Todas las uniones, tanto en taller como en obra, fueron soldadas, y las soldaduras fueron objeto de controles de calidad rigurosos. Se realizaron asimismo controles geométricos y tensionales exhaustivos, que fueron llevados a cabo por Vicente Puchol (Kinesia).

Rui-Wamba señala que “cuando se está construyendo hay mucha emoción”. Una vez completados y cerrados los arcos, se procedió al montaje de los pilares y de las vigas longitudinales y transversales del tablero. A medida que se avanzaba con el montaje de las vigas del tablero, desde los estribos hacia el centro del arco, se comenzaron a montar prelosas, y sobre ellas se hormigonó el resto de la losa del tablero.

Los resultados de las pruebas de carga realizadas antes de la puesta en servicio oficial confirmaron todas las previsiones teóricas, y el puente entró finalmente en servicio a comienzos del verano de 1995, concluyendo una aventura profesional inolvidable.

La empresa constructora Entrecanales construyó la obra de Tablate para la Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental, dependiente del Ministerio de Fomento. Con esta obra y la anterior del puente del Izbor se recuperó la tipología del arco para la construcción de puentes. Esta tipología había quedado relegada desde hace años, pero desde esta época comenzó a utilizarse de nuevo con frecuencia, tanto en arcos de acero como de hormigón o de estructura mixta.

El presidente de Esteyco recuerda que “hace pocos años, y felizmente, nuestro puente, puente de todos, fue clonado. Y hoy conviven muy próximos dos puentes con idéntica tipología y análoga geometría, que soportan, cada uno, una calzada de la autovía entre Granada y Motril”.

► **PUENTES CASI HUMANOS**

En sus escasos pero saludables años de vida, el puente de Tablate habrá sido utilizado por más de 30 millones de personas. Según el autor, no hay que olvidar que “los puentes son casi humanos y tienen también una esperanza de vida. Por eso, para que una obra dure mucho debe estar siempre en construcción, porque las estructuras siempre se están moviendo. Estudiando estos movimientos conoceremos la salud del puente. Y es que los ingenieros no pretendemos eternidad para nuestras obras, pero sí que sean útiles”.

Sin duda, este original puente está llamado a convertirse en uno de los referentes de la historia ingenieril española, tanto por su estética y por su respeto por el medio ambiente circundante como por la geografía torturada que condicionó directamente su construcción. Y es que, como dice Pedro Antonio de Alarcón en el capítulo X del libro *La Alpujarra: sesenta leguas a caballo precedidas de seis en diligencia*, la “historia es esclava de la geografía” ■

PUENTE DE TABLATE

Situación: En la CN-323, entre Granada y Motril
Año de construcción: 1995
Tipología: Puente arco metálico
Luz principal: 142 m.
Autor: Javier Rui-Wamba

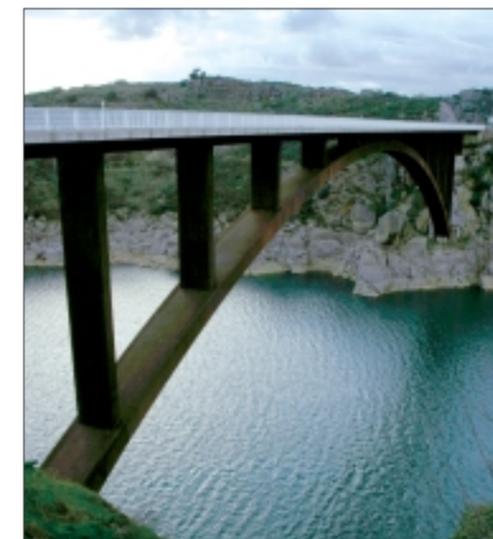


El regreso del arco

LUIS GUIJARRO | FOTOS: CABALLERO

Esta bella obra de ingeniería se inscribe dentro de la recuperación de los grandes puentes en arco, cuya construcción se había abandonado en el primer tercio del siglo XX por la dificultad y carestía de las cimbras y el descubrimiento de nuevos procesos constructivos. El arco de Ricobayo es una estructura mixta, es decir, un arco de acero relleno de hormigón, una nueva tipología con la que se han construido muy pocos arcos en España y el resto del mundo. Este puente, metálico y armónico, ostenta la fama de tener el mayor arco de metal de Europa.

El puente exhibe un arco mixto biempotrado, de 168 m. de luz, que salva el embalse con elegancia.



El puente sirve a la nueva CN-122 para cruzar sobre un estrecho del embalse del Esla muy próximo a Ricobayo, a unos 20 kilómetros de Zamora, porque la anterior carretera cruzaba el embalse precisamente sobre la presa de Ricobayo, para lo cual daba un rodeo. La nueva carretera mejora el trazado cruzando el embalse en uno de sus puntos más estrechos, unos cientos de metros aguas arriba.

Ferrovial, empresa constructora encargada del proyecto, presentó al concurso dos soluciones para construir el puente. La primera era un arco de hormigón construido con dovelas prefabricadas colocadas en obra por el procedimiento de avance simultáneo de arco, tablero y pilas y voladizo con diagonales temporales. La segunda era una solución mixta en hormigón y acero patinable, construido por el mismo procedimiento. Durante la valoración de soluciones que realizó la Unidad de Carreteras de Zamora del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente se eligieron estas dos alternativas entre las tres primeras y fueron propuestas en la terna para su adjudicación a la Dirección General de Carreteras del Ministerio. Finalmente, la solución de arco mixto de hormigón y acero fue la seleccionada como ganadora del concurso.

Este arco ha tomado el nombre de la presa de Ricobayo, que adoptó uno de los cercanos términos municipales. Se trata de un embalse con una profundidad de unos 80 m. y una anchura máxima de unos 150 m., que separa a los pueblos de Muelas del Pan y Ricobayo. El salto donde desemboca la presa forma un impresionante cañón flanqueado por dos paredes de roca, que constituye una labor de ingeniería de excepción a la que se une la reciente construcción del arco. En esta zona se han construido a lo largo del siglo XX varios arcos, probablemente debido a la configuración abrupta de los arribes de granito de la cuenca del Duero. Entre ellos destacan el viaducto de Requejo, rebautizado como arco de Pino, y el arco de Martín Gil, cuyo nombre se debe al ingeniero que redactó el proyecto.

► UNA ESTRUCTURA MIXTA

Santiago Pérez-Fadón, uno de los autores del proyecto, explica que "el arco de Ricobayo es una estructura única sin juntas de dilatación más que en los estribos del tablero. Se compone de un tablero mixto de 14 vanos interiores de 14 m. de luz y



dos extremos de 11.50 metros. Los dos primeros vanos de cada lado se apoyan sobre pilas metálicas en el terreno y el resto lo hace sobre un arco mixto hiempotrado que salva el embalse. Todo el acero de la estructura es del tipo patinable y autoprotectible contra la corrosión”.

En este arco se decidió que tanto las soluciones de hormigón como las mixtas seguirían el diseño de un arco único con un solo fuste por cada pila, y en correspondencia con todo ello un tablero unicelular cuya organización formal describe así Pérez-Fadón: “El tablero tiene una longitud de 220 metros y una anchura de 12 metros. Las pilas de la estructura son metálicas, con sección rectangular en cajón con grandes chaflanes en sus esquinas para disminuir la dureza visual de los diedros resueltos con chapas metálicas. Las pilas tienen 3 metros en el sentido transversal del puente y su espesor en el sentido longitudinal es variable, dependiendo de la altura de cada una. Además, las pilas 2 y 12, las más altas, son también las de mayor espesor, siendo, además, mixtas, es decir, van rellenas de hormigón conectado al metal. Todas las pilas centrales se empotran en el arco”.

El resultado final es un arco con 168 metros de luz y una flecha de 24,4 metros, por lo que la relación luz/canto es de 6,9.

► ARMÓNICA PERSPECTIVA

El tramo de carretera salió a concurso de proyecto y obra a finales de 1992. El objeto del concurso era el puente sobre el embalse, para el que las diferentes empresas presentaron más de treinta soluciones. “El pliego del concurso señalaba que este puente debía ser un arco y establecía el trazado de la carretera que había de cruzar el embalse. Quedaba, pues, decidido el tipo de puente y la luz; pero se dejaban libres el tipo de arco, la forma de construcción y el diseño de detalle del puente”, según Pérez-Fadón.

“Tras estudiar estos antecedentes y visitar el lugar del emplazamiento —comenta el ingeniero—, concluimos que la solución idónea era un arco mixto de tablero superior. Desde el principio se tuvieron en cuenta los aspectos formales. Se deseaba que el arco crease una perspectiva armónica con el entorno, que se enmarcara en él de forma natural. Se



El puente, bello y austero, se enmarca en el embalse del Esla de forma completamente natural.

planteó un diseño con una cierta austeridad acorde con una obra de esta envergadura en un contexto rural. Dentro de esa austeridad se buscó la belleza, subrayando aquellas formas que en sí mismas denotan su función. Para ello se huyó de toda complicación formal, buscando en la sencillez esa elegancia en la expresión, algo que cuando se consigue transforma la ingeniería en metaingeniería”.

En función del terreno, de la nueva carretera y del embalse, el arco que produciría un menor impacto visual era uno de tablero superior muy rebajado. De este modo se enmarcaría entre los arribes del estrecho por el que se cruzaba el embalse. El arco se dividió en doce recuadros iguales que formaban una viga con once pilastras para la transmisión de las cargas desde el tablero hasta el arco. Así, el reparto de las cargas que producían estas once pilas daba lugar a una distribución casi uniforme de las mismas. El tablero se diseñó en cajón único con las pilastras de fuste único. Además, dado el vuelo transversal que resultaba para el forjado de hormigón, se dispusieron unos jabilcones de acero que semejan un artesonado cuando se contempla desde abajo.

Pérez-Fadón insiste en que se trata de un arco mixto, ya que el contorno exterior es de acero AE-355 WD y su interior se rellena posteriormente de hormigón de masa H-350 convenientemente conectado a la parte

metálica. El arco tiene en su interior tres aligeramientos circulares de 1 metro de diámetro. Estos tubos sirven para disminuir el peso, dado que no se necesita tanta área de hormigón. Los aligeramientos se rellenan de porexpan para evitar que durante el hormigonado penetrara en su interior agua o lechada.

► AVANCE EN VOLADIZO

El procedimiento de construcción utilizado en el proyecto fue el avance en voladizo con diagonales temporales. Aunque tiene sus raíces en el montaje de autocimbras inventado a finales del siglo pasado por el ingeniero suizo Melan, este procedimiento es el más moderno entre los que prescindieron de las cimbras.

Como actuación previa se procedió a excavar los arribes del embalse para construir los estribos del arco, operación muy compleja dada la dificultad del terreno, que obligaba a perforadoras y excavadoras a estar sujetas de una potente grúa para evitar su caída al embalse dado lo restringido del espacio. Una vez alcanzada la cota de cimentación se limpió la plataforma con aire comprimido y se vertió un hormigón de nivelación que proporcionara una plataforma de trabajo para montar la feralla y el encofrado del estribo.

El arco de Ricobayo salva elegantemente un embalse sobre el Esla de 80 metros de profundidad y 150 de anchura

Según el responsable del proyecto, el procedimiento constructivo se inició montando un lanzador, que es el que coloca en obra todas las piezas (tramos de tableros, pilas y arcos) que previamente han sido fabricadas en taller. Este lanzador está constituido por un par de vigas de celosía de gran canto, sobre las cuales corre un carro con un cableante de elevación. Además, las dos vigas son automóviles, con lo cual el lanzador se podía situar en cada momento en la posición requerida. Seguidamente se trasladó el carro lanzador a la otra ladera, ya preparada en lo que se refiere a los tramos de ladera, y se ejecutaron los anclajes a la roca. El proceso de avance en voladizos sucesivos se repitió hasta dejar los dos semiarcos a unos 20 metros de distancia. A continuación se instaló el tramo central de arco, que incluía la pieza telescópica de clave con los gatos hidráulicos en su interior. Se colocó el tramo de tablero central y las almas bajo el mismo que le hacen solidario al arco, retirando posteriormente el carro lanzador.

Seguidamente se procedió al hormigonado del arco en cinco etapas. Las dos primeras etapas en tramos de 28 metros (dos recuadros) simultáneamente desde ambos estribos. Las dos siguientes en tramos de 14 m. (un recuadro). Y la última, una vez acabada la operación de gatos, consistente en hormigonar la cámara clave. Por último, se colocaron los jabalones y se procedió a su soldadura. Se instaló el forjado prefabricado avanzando simultáneamente desde ambos estribos, y se procedió al hormigonado de juntas entre piezas prefabricadas. Acabadas estas operaciones se procedió a la terminación del puente con barreras, barandillas y pavimento.

► OPERACIONES DE PRETENSADO

En este proceso constructivo hay cuatro operaciones que utilizan el pretensado, definido por Pérez-Fadón como la “puesta en tensión intencionada de una estructura por cualquier medio antes de recibir las cargas que ha de soportar, para equilibrar en alguna medida las tensiones que estas cargas le producirán”. Este proceso se utilizó en la unión pretensada de los anclajes a la roca, en las regulaciones de las diagonales que se realizan antes de la colocación de cada recuadro. Igualmente, una vez que se cierra el arco, durante el hormigonado de las diferentes fases se produciría un estado de cargas que no se correspondería con el funicular del arco. Por ello, en el momento en que el hormigón endureciese, quedarían reflexiones en la parte metálica del arco. Naturalmente, comenta Pérez-Fadón, “estas reflexiones no son deseables,



y para evitarlas se proyectó un pretensado de la estructura actuando sobre las diagonales y sobre los gatos de la clave”.

Por último, como todos los arcos se acortan por esfuerzo axil al entrar en carga, se tiene siempre muy en cuenta que el arco está empotrado en sus estribos, se produce un descenso de la directriz que podría obligar a un giro en estos empotramientos, un giro que al estar impedido produciría un momento de empotramiento no deseado. Para evitarlo, el ingeniero francés Eugene Freyssinet fue el primero en introducir gatos en la clave de tal modo que al abrirlos recuperaban el acortamiento del arco. Este alargamiento ha de ser precisamente igual al acortamiento total del arco (elástico más diferido). Así se hizo también en el caso del arco de Ricobayo. ■

Los ingenieros eligieron para el puente un arco de tablero superior por ser el de menor impacto visual.

ARCO DE RICOBAYO

Situación: En la CN-122, cruzando sobre el embalse del Esla, cerca del municipio de Ricobayo (Zamora)

Año de construcción: 1996

Tipología: Puente arco mixto de tablero superior de hormigón y acero

Longitud total: 219 m.

Anchura de tablero: 12 m.

Luz: 168 m.

Autores: Santiago Pérez-Fadón, José Emilio Herrero

Un puente contra la adversidad



VÍCTOR MEDINA | FOTOS: CABALLERO

En noviembre de 1998 se inauguró la Autovía Madrid-Valencia, cuyo último paso antes de la apertura fue precisamente este gran viaducto. La obra de Julio Martínez Calzón es una muestra de lo que la técnica y la profesión de la ingeniería pueden hacer frente a las adversidades naturales y, en cierta medida, humanas. Ni las riadas que crecieron el río Gabriel ni los cambios en el proyecto impidieron que este viaducto de 170 metros de luz fuera realidad en tan sólo seis meses.

Este viaducto es el tercero en dirección Valencia de un tramo de autovía orográficamente muy complicado.

El viaducto sobre el embalse de Contreras, enclavado en la Autovía Madrid-Valencia en su tramo entre Minglanilla y Caudete de las Fuentes, es una magna obra que no sólo resulta original por su estructura y construcción, sino también por las adversidades que tuvo que afrontar. De hecho, el puente corresponde a la tercera versión que se realizó de la obra, elaborada en el estudio de MC2, de Julio Martínez Calzón. El propio ingeniero recuerda que “hubo mucha controversia, comenzando por el

propio trazado de la carretera, que en un primer momento afectaba a las Hoces del Gabriel y que finalmente dio con la ubicación definitiva sobre el embalse”. Un cambio de lugar que trajo consigo la modificación de las condiciones de obra.

“El contratista –agrega Martínez Calzón– fue proponiendo cambios que nosotros analizábamos. Por la premura de tiempo se atendió primero a otros tramos de la autovía y el puente se dejó para el final. Al llegar el momento de su construcción se comprobó que apenas se disponía de tiempo y que la solución propuesta se salía de plazo”. La premura de las fechas obligó a utilizar para la construcción los materiales destinados a priori a la obra de otro puente, con la consiguiente adaptación al viaducto de Contreras.

El resultado de todo este proceso es un puente de doble acción mixta de dos tableros gemelos, que permiten la transferencia de la calzada de la autovía a dos túneles. El viaducto consta de un gran puente principal en celosía mixta de tres tramos y un vano de acompañamiento simplemente apoyado, con una longitud total de 426 metros. Se da la circunstancia de que este proyecto tenía que haber sido aplicado en un gran puente sobre el río Sil; sólo hicieron falta ciertos retoques para reubicarlo sobre el río Gabriel.

Cada uno de los tableros del viaducto mencionados tiene una anchura de plataforma de 14,05 metros y está compuesto por una doble viga de celosía, con hormigón en la parte inferior en los momentos negativos, y una losa de hormigón conectada a esas dos celosías. El puente queda completado con un tramo de acceso para salvar la zona de llegada y por dos grandes estribos: uno elaborado en tierra armada y otro rígido, localizado en la zona de acceso de cada uno de los túneles.

► CAMBIOS DE PROYECTOS

El cambio de ubicación de las Hoces del Gabriel al embalse de Contreras obligó a efectuar importantes modificaciones en el proyecto inicial. El primer conjunto de alternativas, despachado en abril de 1997, dio como resultado tres vanos de acceso en estructura mixta de la parte de la autovía proveniente de Madrid para alcanzar, tras superar el viaducto, el istmo denominado Rabo de la Sartén, donde continuaría el trazado de la carretera. Para construir esta alternativa se habilitarían los tramos de acceso al puente por medio del empuje acompañado de las estructuras, además de aplicar vola-

dizos sucesivos para los vanos centrales. El tramo central sería colocado por la elevación del tramo central desde el embalse.

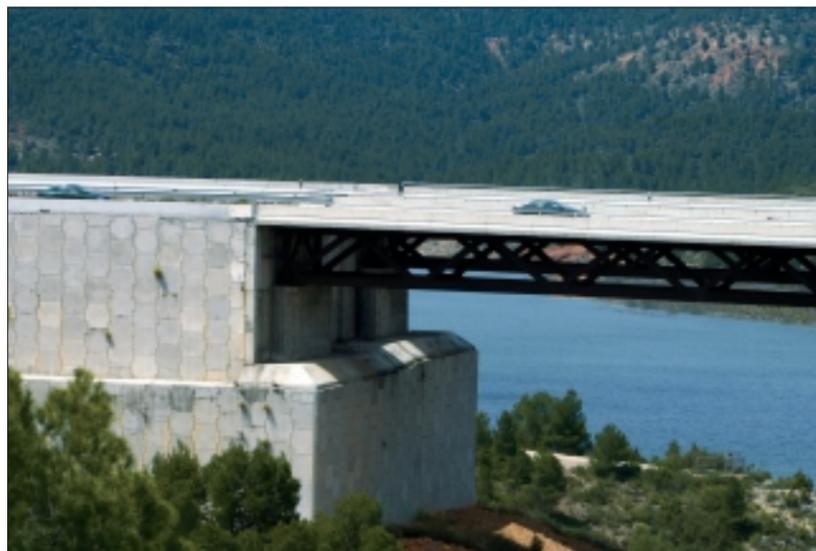
La empresa constructora titular de las obras planteó reducir la longitud del viaducto y modificar el proceso constructivo para simplificar la ejecución y reducir los plazos y costes. Todo esto llevó a proyectar una nueva solución en agosto de 1997. En ella se aplicaban los planteamientos del proyecto del viaducto sobre el río Cabriel, con dos calzadas mucho más separadas entre sí y ligeramente divergentes en planta. En síntesis, se trataba de tres subunidades que aportaban equilibrio a la gran simetría del puente. La estructura o estribo del lado de Madrid presentaba una gran altura (36 metros) y dispuesta en un gran terraplén, lo que exigía una separación variable en los ejes, la supresión de las piezas de celosía en las coronaciones de las pilas principales y la reducción de las luces del dintel. La ejecución del conjunto del tablero del puente se llevaría a cabo mediante empuje acompasado, salvando un vano central de 185 metros y dos laterales de 110 metros.

El proyecto sufrió otra modificación cuando la constructora advirtió, en octubre de 1997, que, dado que la finalización de las obras estaba prevista para noviembre de 1998, el suministro de acero para el puente no podía satisfacer ese plazo. De hecho, la inauguración de la autovía quedaba pendiente sólo de la ejecución de este viaducto y otros dos menores cerca de éste. Con esta premisa, la adjudicataria optó por aprovechar el material de un puente sobre el río Sil y su adaptación a la obra de Contreras, pese a que características como la disposición de las calzadas o las dimensiones eran inferiores en el caso del Sil respecto al viaducto.

► UN PROCESO COMPLICADO

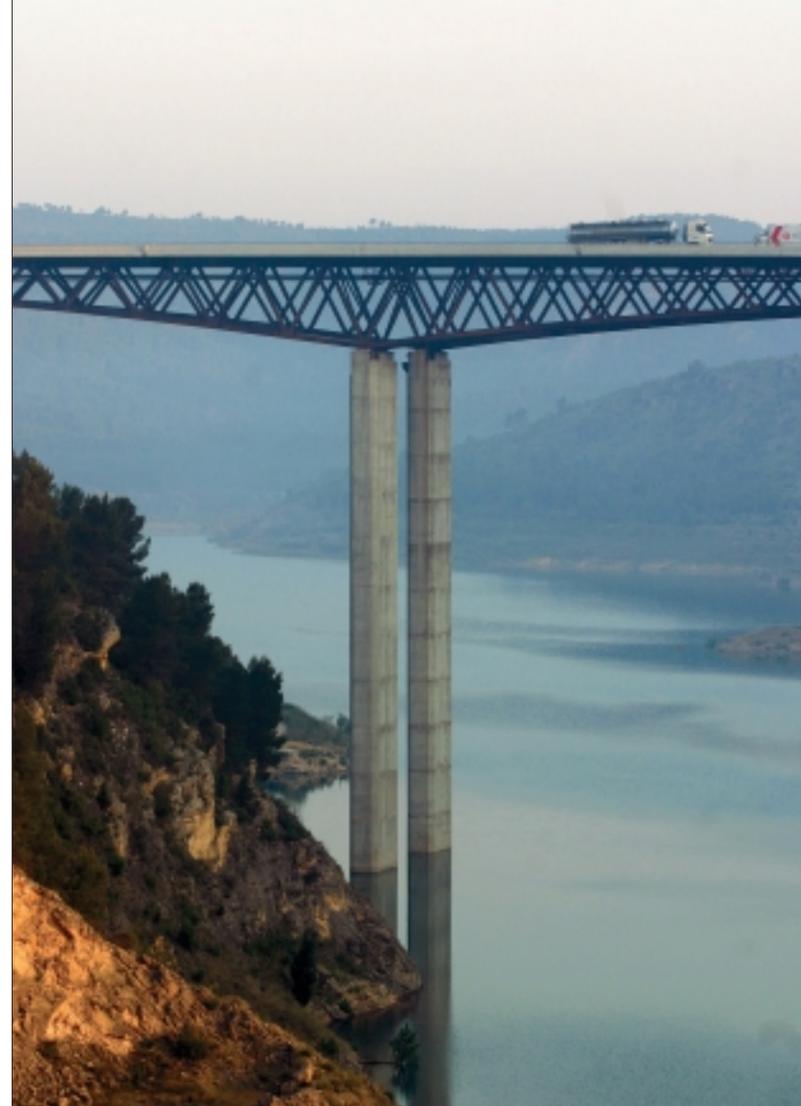
Martínez Calzón y su despacho analizaron las nuevas disposiciones y, vista la imposibilidad de aplicar la estructura inicial del puente del Sil, se optó por plantear ciertas variaciones al entramado que, entre otras disposiciones, implicaba una modificación sustancial del proceso constructivo. La propuesta del ingeniero fue aceptada y comenzaron las obras.

“Contábamos con muy poco tiempo, dado que los cambios y sucesivas alternativas habían demorado el comienzo de las obras a febrero de 1998, y el puente tenía que estar acabado en noviembre de ese año”, recuerda Martínez Calzón. Fueron, por tanto, ocho meses y medio de trabajos. Todo un re-



to. Los trabajos comenzaron con la ejecución de la cimentación de los estribos y las pilas, en un proceso constructivo similar al previsto para el puente del Sil, aunque con ciertas alteraciones lógicas al aplicarse a una ubicación distinta.

Por si no habían sido numerosas las adversidades que atravesó la construcción, en marzo de 1998, tan sólo un mes después del comienzo de los trabajos, las fuertes lluvias producidas en aquellos días provocaron riadas y la considerable crecida en el área de las cimentaciones. “Las aguas del embalse subieron hasta llegar a la base. Hubo que modificar las zonas de cimentación y aplicar soluciones muy complejas que pasaban por construir bajo el agua, con la labor de buzos en tareas complicadas”, rememora el ingeniero.



El viaducto introduce en el entorno estribos que apenas se ven y largas pilas que no impiden ver el paisaje a través del puente.

En síntesis, en la construcción del viaducto se aplicó el sistema de empuje y giro completos por semipuentes en el tramo continuo, al que le siguió un montaje por doble elevación para el vano de acompañamiento. Después de cimentar las pilas y estribos del puente, se procedió a terminar de alzar los estribos hasta alcanzar la cota de apoyo de la estructura y el apoyo provisional del vano de acompañamiento. Los siguientes pasos tendieron a habilitar el entramado necesario para el empuje de las estructuras principales del puente. Para ello fue necesario construir las pistas de rodadura y colocar en la cola de cada semitramo principal un contrapeso de 170 toneladas por cada uno de los sistemas, además del montaje de un pórtico. Dicho pórtico cumpliría las funciones de retener y controlar la acción del contrapeso extremo durante las fases de rodadura, y así mejorar la estabilidad del proceso; la otra misión era regular y suavizar la retirada gradual del con-



trapeso durante la fase de giro. En la operación de rodadura se fue controlando la incidencia del pórtico y el contrapeso para aplicarle los valores necesarios.

“En el viaducto de Contreras, después de montar el tramo del medio puente se pasó rodando hasta llegar al borde, trasladándose en una complicada operación. Todo el montaje de las piezas nos ocupó cerca de día y medio, en colocar dos partes por cada una de las calzadas”, señala Martínez Calzón. Una vez alcanzado el apoyo central del eje de la pila, se ajustó la estructura en la pila principal mediante un sistema de gatos, con lo que se evitaron desplazamientos y sobrecargas.

Los pasos siguientes incluyeron el hormigonado de la losa de fondo y del tablero, tras la que se alcanza la zona de contacto entre ambas etapas de hormigonado, con lo que quedó completa la estructura. Esto permitió realizar los acabados, con el pavimento de asfalto y la colocación de la barrera-imposta.

► CALZÓN Y EL VIADUCTO

El ingeniero responsable del viaducto destaca de su obra la complejidad que entrañó la construcción al encarar las grandes riadas del Cabriel, que él mismo califica como determinantes para la morfología del puente. “La cimentación fue muy compleja al estar las pilas bajo el agua”, reconoce Martínez Calzón. “Cada uno de los dos tableros está compuesto por dos grandes cuchillos en celosía con hormigón inferior en la zona en momentos negativos, y con una losa de hormigón conectada a esas dos celosías”. Para la construcción de las celosías se observó la experiencia de puentes anteriores, “especialmente los de ferrocarril, terreno en el que

El puente es la adaptación a la zona de Contreras de un proyecto de viaducto previsto para el río Sil

se ha desarrollado mucho esta técnica”, señala.

Aunque el propio Calzón admite que el viaducto de la autovía de Valencia no es “un puente como el de Tortosa” (el puente del Milenario, obra conjunta suya y de José Antonio Fernández Ordóñez), lo califica como “una pieza atractiva estructural y, al mismo tiempo, original por el uso de las celosías”. “El viaducto salva un gran vano sin tocar suelo, con su luz de 170 metros centrales. Una longitud que le elevó en su día a uno de los diez mayores de España”.



Calzón también destaca la integración del viaducto en su entorno y su escasa incidencia medioambiental. “Su estructura transparente apenas daña al medio ambiente. La obra sólo introduce en el entorno los dos estribos, que apenas se ven. El puente no provoca una mole y permite ver el paisaje a través de él. Es, además, muy apropiado para este entorno duro de rocas y agua, integrado con el color de óxido que lo conforma”.

► TRAYECTORIA DEL AUTOR

La vida profesional de Julio Martínez Calzón ha estado marcada por la construcción de puentes. Su pasión y labor le ha llevado a proyectar y erigir puentes de la categoría del de Juan Bravo sobre el paseo de la Castellana, en Madrid (1968), o el de Tortosa que cruza el río Ebro (1986); y participando en trabajos fuera de España, como los puentes de Saint Hohn y Jemseg, en New Brunswick (Canadá). Actualmente ultima dos puentes en Uruguay, un atirantado curvo y otro empujado de casi un kilómetro de largo. Su trabajo se concentra en los puentes mixtos, pero también los ha realizado de otros tipos, como el basculante del puerto de Valencia (2002) o el atirantado del Centenario en Sevilla (1991).

Este ingeniero de caminos nacido el 11 de marzo de 1938 ha dejado su impronta en otras obras como el Auditorio Nacional de Música en Madrid (1984. Arquitecto: José María García de Paredes)

o el Palau Sant Jordi para las Olimpiadas de Barcelona (1991. Arquitecto: Arata Isozaki). Sus actuales proyectos en construcción son el Teatro del Canal, en Madrid, la sede de Gas Natural, en Barcelona, y la primera torre que se erigirá en los terrenos de la antigua Ciudad Deportiva del Real Madrid, al norte de la capital.

Profesor Titular de Estructuras Metálicas y Mixtas en la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, ha publicado numerosos artículos y libros sobre estructuras mixtas y puentes mixtos. ■

La viga de celosía es uno de los rasgos más característicos del viaducto.

PUENTE DEL EMBALSE DE CONTRERAS

Situación: En la A-3 (Madrid-Valencia), en el tramo entre Minglanilla y Caudete de las Fuentes (en el límite entre Cuenca y Valencia)

Año de construcción: 1998

Tipología: Tramo continuo en celosía de sección mixta y cabezas de compresión en tabla inferior sobre pilas

Longitud: 426 m.

Luz: 170 m.

Anchura del tablero: 14,05 m.

Autor: Julio Martínez Calzón



Abrazo de acero

JOSÉ I. RODRÍGUEZ | FOTOS: OFICINA DE PROYECTOS CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.A.

El puente de Euskalduna, una gran viga curva de 250 m. de longitud, es nexo de unión entre la plaza del Sagrado Corazón y Deusto, en Bilbao. Un abrazo que funde en acero la vida que late a ambas orillas de la ría y se convierte en un enlace directo, utilizado por cerca de 40.000 vehículos diarios, entre el valle del Txorierrri y las autopistas A-8 y A-68.

Vista general del puente y detalle de la escalera peatonal con la torre de iluminación.



M. D. CORDERO



Desde su apertura en 1997, el puente de Euskalduna ha permitido aliviar el tráfico de Deusto al convertirse en un enlace directo entre el valle del Txorierrri y las autopistas A-8 y A-68. El viaducto, dotado de cuatro carriles para la circulación y una amplia acera para los peatones, constituye una infraestructura emblemática en el barrio de Abando, junto al museo Guggenheim y el palacio Euskalduna, utilizado cada día por cerca de 40.000 vehículos

Precisamente, la necesidad de crear –en el contexto del ambicioso plan Ría 2000– nuevos enlaces a través de la ría del Nervión, entre Deusto y Bilbao, la Diputación de Vizcaya planteó un concurso de ideas para la realización de una actuación entre la plaza del Sagrado Corazón y Deusto; un proyecto que, junto a un puente que cruzara la ría, incluyera también una nueva plaza circular, tangente a la Casa de Misericordia, al nuevo Auditorio y a la propia plaza.

La propuesta elegida –se presentaron tres– partía de la conjunción de dos ideas básicas: la primera, orientada a disponer a los peatones por un lado y los vehículos por otro, y la segunda, que contemplaba un planteamiento estructural unitario que, mediante una celosía, integrase la cubierta del paso de peatones y el dintel en una estructura única.

Según Javier Manterola, el puente presenta va-



M. D. CORDERO

rias características, principalmente su sección transversal, que lo hacen único. “Las bases del concurso proponían dos aceras de 5 m. de anchura, pero se autorizó unir las en una sola acera de 10 m. de anchura, además de cubierta, pues Bilbao es una ciudad extraordinariamente lluviosa”.

► **UNA VIGA CURVA**

Así, el puente es una gran viga curva, de radio muy pequeño (120 m.), formada por tres vanos, de 81 m., 106 m. y 71 metros. El vano principal es el que salta la ría de Bilbao, en el centro de la misma ciudad, sobre los antiguos astilleros de Euskalduna. La viga presenta una considerable rigidez a la flexión ya que su canto real –la distancia entre la parte superior de la cubierta y la parte inferior del dintel– es de 6,6 m. Sin embargo, como señalan los ingenieros autores del proyecto –Leonardo Fernández y Miguel Ángel Gil, comandados por Javier Manterola–, “es el mecanismo de rigidez a torsión lo que le confiere singularidad”.

Efectivamente, al tratarse de un puente muy curvo, flexión y torsión están acoplados, lo que en el caso de una sección transversal abierta va a producir flexiones de eje vertical contrapuestas en la cara superior y la inferior: las de la superior se resisten por la celosía horizontal

que constituye el techo de la zona peatonal; y las de la cara inferior por la viga de cajón que soporta la rodadura. Precisamente entre ambas se desarrolla la celosía curva que posibilita la realización de ese par, consiguiéndose así un tratamiento unitario, tanto resistente como formal.

La anchura total del puente es de 27 m., y está constituido por dos calzadas de dos carriles cada una con su mediana y una gran acera de 10 m. La anchura la completan la mediana, las defensas y la celosía intermedia. La viga cajón inferior tiene un canto variable (1,95 m. máximo), lo que le confiere una gran esbeltez visual, mientras que la celosía aparece detrás. El cajón inferior tiene 10 metros de anchura y se completa con costillas transversales: de 10,5 m. de voladizo, las que se sitúan bajo el paso de los peatones, y de 6,5 m. las situadas bajo las calzadas de los vehículos.

Por otra parte, el puente tiene cinco almas, unidades de dos en dos en sus extremos y una quinta en el centro. Los pequeños cajones que se crean en los bordes presentan una gran rigidez transversal, con el fin de servir de soporte para el deslizamiento del dintel durante el proceso de empuje en la fase de montaje.

Sobre el cajón citado anteriormente y sus costillas trans-

El puente se ha convertido en una de las infraestructuras emblemáticas del barrio de Abando



La cubierta peatonal, en voladizo, descansa sobre la gran celosía metálica. Página opuesta, vista inferior del tablero.

versales se ha dispuesto una losa de hormigón de 20-26 cm. de espesor, que se pretensa longitudinalmente con 56 unidades de 7° 0,6”, colocadas en la zona de momentos negativos del dintel. La gran deformación por cortante que tiene toda celosía hace que las flexiones negativas sobre los apoyos activos, a tracción, no sólo el cordón superior de la celosía, sino la cabeza de la viga cajón situada bajo la misma.

El cordón superior de la celosía tiene sección cajón y unas dimensiones de 2,2 m. x 0,5 m. y actúa como cabeza de compresión o de tracción de la viga, según sea la zona. Desde él sale el voladizo de la cubierta del paso de peatones, cuya configuración, en celosía, confiere una gran rigidez en su plano a la cubierta. El voladizo o canto horizontal de la viga es de 9 m.

La celosía principal, por su parte, actúa como un tejido elástico transversal, que introduce carga horizontal en el cajón inferior y en la cubierta superior por la torsión del puente, aunque también la

redistribuye a otras zonas. La ventaja de tener unas zonas con flexiones positivas y otras con negativas permite que las cargas horizontales sobre las cabezas tengan signos diferentes según las zonas y acaben transmitiéndose a la parte inferior sin necesidad de disponer grandes pórticos transversales en los extremos que recondujesen la carga a la cimentación.

Esta gran triangulación no crea sus nudos en el plano de centros de gravedad del cajón inferior, lo que habría producido una interrupción formal inadmisible. Se cierra en su cordón superior y se refiere al centro de gravedad del cajón por la rigidez horizontal y vertical del mismo.

► **PILAS PRINCIPALES**

Las pilas principales, que se cimentan sobre pilotes, están constituidas por dos pilares cilíndricos, uno de 2,4 m. de diámetro y otro de 1,6 m., unidos por un arriostramiento visible.

Los estribos son muy diferentes. El situado en el margen izquierda de la ría constituye un borde de la gran plaza circular elevada que es tangente a la plaza del Sagrado Corazón. Es una gran estructura semicircular, de 120 m. de longitud máxima, 25 m. de anchura, con luces de 12,5 m., con tres plantas interiores destinadas a aparcamientos. Dicha estructura, de hormigón armado y cimentada sobre pilotes, puentea además las vías del ferrocarril.

El estribo, del lado de Deusto, es tradicional, de hormigón armado construido sobre pilotes. En el tramo de acceso, directamente apoyado en el suelo, se realizó una consolidación previa por la instalación de una malla de geodrenes, de 10 m. de profundidad.

Por otro lado, se creyó necesario que los peatones tuvieran posibilidad de realizar un desembarco intermedio, una vez cruzada la ría, para lo que se dispuso de una doble escalera “imperial” helicoidal, semicircular metálica, de 7,2 m. de radio exterior y 4,5 m. interior, que se apoya en el voladizo de la zona de peatones y en una cimentación en el suelo. Además, la zona de peatones cubierta, incluido un carril de bicicletas, cuenta con una adecuada iluminación.

En el centro de la escalera se ha dispuesto la torre de iluminación general de los carriles de vehículos. Tiene 45 m. de altura y un fuste con tres

lados equiláteros en “Y” que, desde 1,5 m. en la parte inferior, llega a 0,5 m. en la superior.

► ASÍ SE MONTÓ

El trazado del puente está formado por una curva y una recta. El dintel se montó en dos mitades, cada una de las cuales se construyó sobre una de las orillas. La mitad construida en el lado de Bilbao está constituida por un tramo recto de 75 m. de longitud y un tramo curvo de 120 m. de radio. Para colocar este tramo en situación se empujó en línea recta, a lo largo de 62 m., deslizando sobre una viga apoyada en el suelo y pilotada. En el lado de Deusto, todo el tramo circular, de 120 m. de radio, se empujó por procedimientos tradicionales, con gatos de empuje colocados en el estribo de ese lado de la ría y apoyado y guiado sobre la pila situada en la misma margen.

Cuando ambos semipuentes estuvieron lanzados hubo que darles continuidad, para lo que fue necesario realizar una serie de operaciones. En primer lugar, se dispuso un tirante de 37° 0,6” y su correspondiente tirante de anclaje, colgado de un bípode de patas cilíndricas de 26 m. de altura, que se apoyaba en el dintel.

Posteriormente fue necesario colocar en carga los tirantes, a razón de 650 Tm. cada uno, con lo que se recuperaba una flecha del orden de 65 cm. en cada semipiente, eliminando la deformación del voladizo. A este atirantamiento hubo que ayudarle ligeramente con una pareja de gatos en el dintel para igualar los giros diferenciales que quedaban entre uno y otro de los bordes del semipiente.

De esta manera se cerró el puente, bloqueando la separación, una vez igualados los bordes; y se procedió al hormigonado por fases del dintel y al pretensado del mismo. Finalmente, una vez endurecido el hormigón, se destensaron los tirantes.

Javier Manterola Armisen nació en Pamplona (Navarra) el 17 de junio de 1936. Compagina su actividad ingenieril con la docencia como catedrático de puentes de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos. Recientemente ha obtenido el Premio Nacional de Ingeniería que concede el Ministerio de Fomento, un galardón a la trayectoria de toda una vida dedicada a la ingeniería y a la impronta tan personal de sus obras, en las que destaca el gran dominio de las estructuras, de la estética y de la innovación. Suyos son, además del puente de Euskalduna, el de Ventas sobre la M-30; o el



M. D. CORDERO

realizado sobre la ría Tina Menor, en la Autovía del Cantábrico, y, más recientemente, el del AVE sobre el río Ebro, con una estructura nueva única en el mundo, además de otros construidos en México. Su reto profesional se sitúa hoy en ver realizado su proyecto de puente con mayor luz entre pilares, 5.000 metros, un puente que uniría el norte de África y España en Gibraltar. ■

Arriba, el puente durante su montaje. Sobre estas líneas, la cubierta peatonal desde la plaza ajardinada.

PUENTE DE EUSKALDUNA

Situación: Entre Bilbao y Deusto (sobre la ría, en el barrio de Abando).

Año de construcción: 1999

Autor: Javier Manterola

Longitud: 250 m.

Anchura total: 27 m.

Vano principal: 106 m.



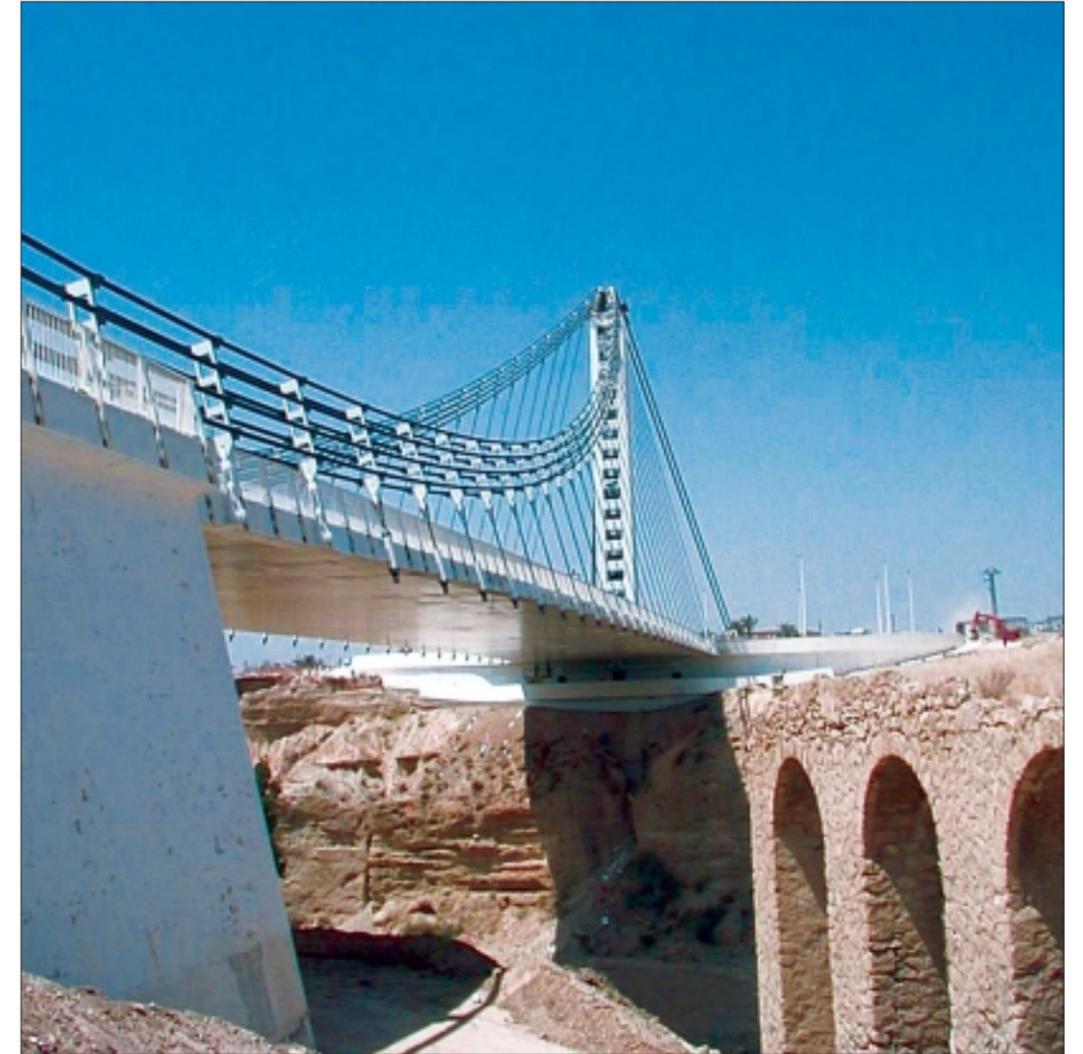
Símbolo moderno de Elche

LUIS GUIJARRO | FOTOS: FHECOR

La ciudad alicantina de Elche cuenta desde principios del actual siglo con un nuevo puente colgante, una tipología de gran belleza visual pero poco extendida en España. Esta vistosa estructura es fruto del interés del Ayuntamiento por contar con una obra de ingeniería singular capaz de erigirse, como así ha sucedido, en un símbolo de modernidad para la ciudad ilicitana.



El puente del Bimilenario, que salva el cauce del Vinalopó, aúna distinción, racionalidad, belleza y modernidad.



La pujante Elche, tercera ciudad de la Comunidad Valenciana, está cruzada por cinco puentes y dos pasarelas: el del Ferrocarril (de mediados del XIX), el de Altamira (mediados del XX), la pasarela del Mercado, el puente de Canalejas (inicios del XX), el de la Virgen (del XVII), la pasarela Albarranch y el puente de la Generalitat (finales del XX). Al norte se encuentra el más moderno, el del Bimilenario (siglo XXI), que es fruto de un interesante proceso constructivo.

Este puente nació a raíz del Plan General de Ordenación Urbana, que preveía diversas actuaciones para completar la Ronda Norte de Elche, paralela a la Autovía del Mediterráneo. Se trata de un espacio periurbano de gran potencialidad conectado con las futuras Ronda Este y Vía Parque Alicante-Elche y en el que destaca la presencia del cámpus de la Universidad Miguel Hernández, de reciente creación.

En julio de 1990, la Consellería d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports de la Generalitat valenciana y el Ayuntamiento de Elche convocaron un concurso internacional de anteproyectos para determinar la tipología estructural más adecuada para un puente que, basándose en los condicionamientos urbanísticos vigentes, tuviera un carácter singular. El concurso, al que optaron 23 anteproyectos, fue adjudicado en mayo de 1991 al equipo de Fhecor Ingenieros Consultores, SA, que ganó así el derecho a redactar el proyecto de construcción.

Las ideas rectoras que animaron el diseño del nuevo puente sobre el río Vinalopó han aprovechado esta obra para crear un símbolo moderno para la ciudad de Elche (distinto, racional, acorde con la tecnología punta de final de siglo y, asimismo, bello). Debía romper el utilitarismo actual que coarta las posibilidades de diseñar los monumentos que caracterizaron en el pasado a las grandes

ciudades. La única forma de recuperar esta monumentalidad y personalización perdidas es a través de obras de infraestructura y, en particular, de elementos singulares, como este puente.

Los puentes colgantes, que permitieron superar los 1.000 metros de luz y fueron el orgullo de la ingeniería estructural de principios de siglo, como el Golden Gate (San Francisco) y el George Washington (Nueva York), ambos en EE UU, se han recuperado recientemente para luces menores. Las razones de esta recuperación son exactamente las que constituyeron el fundamento de su selección en el proyecto: singularidad, elegancia, transparencia y ligereza estructural.

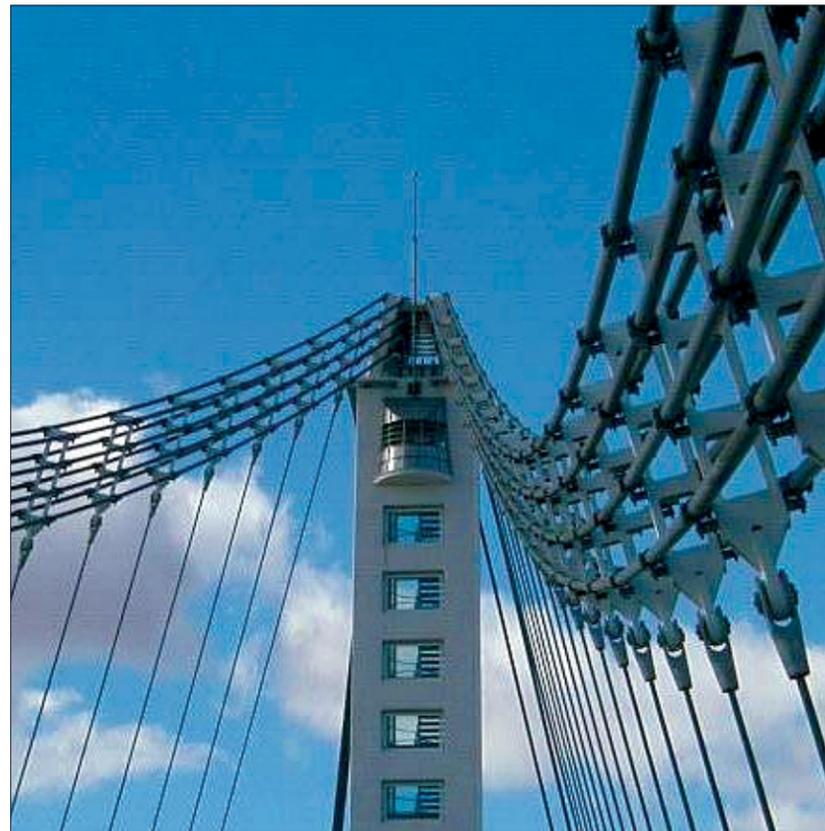
“En el anteproyecto –afirma Hugo Corres Peiretti, uno de sus autores– se analizó el cumplimiento de las ideas rectoras de las diferentes posibilidades estructurales contempladas. Se descartaron las soluciones con pilas múltiples en el río, ya que eran poco transparentes. También se desecharon las soluciones en arco, ya que rompían la continuidad visual del río y, pese a su elegancia, no tenían la singularidad necesaria. Por último, se estudiaron soluciones atirantadas o colgadas que permitían salvar el cauce con un vano único, lo que eliminaba los problemas de interferencia visual”.

Dentro de este grupo de alternativas se planteó construir un puente asimétrico, ya que el cauce del río no se encuentra en el centro del valle; además, se pretendía evitar la colocación de una pila de gran altura en la margen donde se sitúan el Palmeral y el casco histórico.

Las obras se llevaron a cabo por la constructora FCC Construcción entre noviembre de 1997 y noviembre de 2000, bajo la dirección del Servei de Construcció, que contó con la colaboración de Fhecor.

► **UNA ÚNICA PILA**

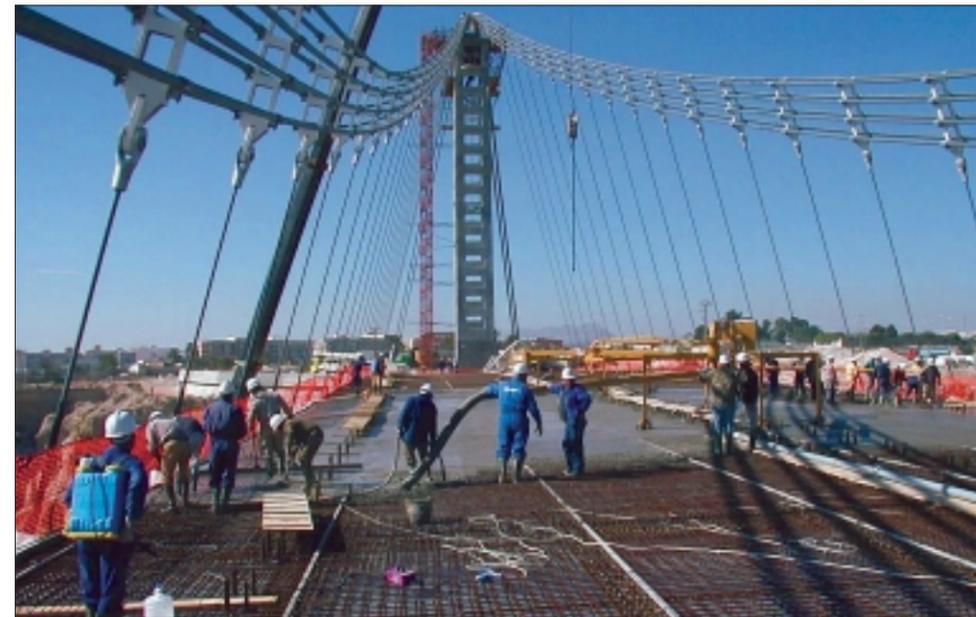
La margen derecha se convirtió en un punto óptimo para situar una pila y el correspondiente contrapeso, siendo allí donde más se necesitaban actuaciones para dignificar los alrededores de la obra. Por todo ello, se propuso un puente colgante asimétrico, con una única pila en la margen derecha del río que cumplía con todas las ideas rectoras. El puente construido tiene una única pila en el



eje de la mediana que recoge en su cabeza dos grupos de cables principales de los que, mediante péndolas equiespaciadas, cuelga un tablero mixto de gran esbeltez.

La pila, de 47.15 metros de altura, se cimenta sobre 30 pilotes de 1.5 m. de diámetro para una mayor seguridad frente a posibles socavaciones ocasionadas por el Vinalopó. La pila está formada por dos pantallas laterales de hormigón de ancho variable (desde 5.20 m. en arranque hasta 4.80 m. en coronación), con un espesor que oscila entre 1.25 y 1.0 m. Estas pantallas se encuentran arriostradas cada 1.25 m., alternativamente en su parte frontal y dorsal, mediante vigas de hormigón de 1 metro de canto y 0.70 m. de espesor mínimo. El hueco interior formado por las pantallas y su arriostramiento lateral se aprovecha para instalar una escalera metálica de acceso a un mirador situado en la zona alta de la pila

Los responsables del proyecto comentan que “el sistema de



Imágenes de la torre y su mirador, de las péndolas y cables y de los trabajos sobre el tablero del puente.

suspensión está formado por dos octetos de cables, con directriz semiparabólica desde la cabeza de la pila hacia el tablero y de directriz recta hacia atrás o zona de retenida. Cada uno de estos cables tiene una longitud media de 265 metros, 125 mm. de diámetro, 93 kg/ml de peso y una carga de rotura garantizada de 1.612 toneladas. De estos cables principales se cuelga el tablero mediante 26 parejas de péndolas situadas en los extremos del mismo y dispuestas longitudinalmente cada 6 m., variando su longitud entre 41 m. y 1,20 m. y siendo su diámetro de 60 mm., su carga de rotura de 392 toneladas y su peso de 22 kg/ml.”.

► **TABLERO Y PÉNDOLAS**

El tablero es mixto de 23 metros de ancho y canto constante longitudinalmente y variable transversalmente de 965 mm. en el centro a 735 mm. en los bordes. La losa superior de hormigón armado es de canto constante de 215 mm. y se ejecuta sobre encofrado perdido de chapa grecada. La parte metálica es una artesa formada por un entramado de nueve vigas longitudinales equidistantes 2,80 m., vigas transversales cada 6 m. coincidiendo con las uniones de las péndolas y chapa de fondo rigidizada también longitudinalmente y transversalmente.

Singularidad, elegancia, transparencia y ligereza estructural son los fundamentos del proyecto que se adjudicó la obra del puente

La silla en cabeza de pila es un marco metálico de hastiales mixtos inclinados, que soporta los esfuerzos debidos al necesario cambio de dirección de los cables principales. De los hastiales sobresalen cartelas metálicas que soportan las camas metálicas de directriz curva de radio 3.500 mm., sobre las que se apoyan los cables principales.

Siguiendo las explicaciones de Corres Peiretti, el sistema de conexión de las péndolas con los cables principales está constituido por abrazaderas, bulones y bastidores. Las abrazaderas son de acero moldeado que se ciñen a los cables principales mediante tornillos de alta resistencia, con la interposición de una lamina de zinc. La abrazadera dispone de una orejeta inferior donde se conectan los bulones de acero mecanizado de 80 mm. de diámetro y 700 mm. de longitud. Estos bulones conectan los cables principales dos a dos, enganchando las abrazaderas correspondientes, y a los bastidores de las péndolas. Los bulones atraviesan el bastidor y conectan las abrazaderas dos a dos. El bastidor se halla soldado a una chapa de 80 mm. a través de la cual se realiza la conexión con la péndola mediante un bulón de 98 mm. de diámetro. La conexión de las péndolas con el tablero se materializa



con un tubo tipo barra perforada de 273 mm. de diámetro exterior y 35 mm. de espesor, que se suelda al alma y platabanda superior de las vigas transversales del tablero.

De acuerdo a Peiretti, “el contrapeso 1, situado en el interior de la glorieta de la margen derecha, sirve para anclar los cables principales en la zona de retenida. Funciona por gravedad y por rozamiento con el suelo. Es un recinto de hormigón armado de 33x32 m. de planta y escalonado con una profundidad variable entre 5 y 17 m., que aloja un relleno interior de material granular de una densidad seca mínima de 2t/m³, siendo su peso aproximado de 30.000 toneladas. En la parte superior se encuentran los aparatos de anclaje”.

El contrapeso 2, situado en la margen izquierda, sirve para anclar horizontalmente los cables principales en su tramo suspendido. Está formado por un elemento de hormigón armado, relleno de material granular de densidad seca mínima de 2 Tm³, que tiene unas dimensiones medias en planta de 40x30 m. y escalonado desde los 12 m. frontales a los 15 m. dorsales, siendo su peso aproximado de 39.000 toneladas.

► **PROCESO CONSTRUCTIVO**

Como sucede en este tipo de puentes colgantes, dentro del proceso constructivo destaca por su particularidad la secuencia de montaje del sistema de suspensión y del tablero.

Previamente al inicio del montaje de los cables y al posterior montaje de péndolas y tablero, se ejecutaron los contrapesos 1 y 2 y se montaron sus aparatos de anclaje de los cables. Asimismo, se ejecutó la pila y se montó en su coronación la silla en la que se apoyarían los cables principales.

Además, fueron necesarias una serie de operaciones previas, como el acondicionamiento del cauce del río para facilitar el proceso de extensión de los cables y la posterior elevación del tablero. Para ello, se dispuso en el cauce una batería de tubos a modo de badén inundable, realizando a ambos lados del mismo una explanación que se aprovechó para el premontaje de las dovelas del tablero.

Una vez realizadas todas las operaciones previas se inició el proceso de montaje. Así, en primer lugar, en la base del contrapeso 2 se montó un dispositivo, denominado debobinador, para realizar el desenrollado de los cables principales. Cada bo-



Contrapeso y anclaje de los cables y pila principal. En la página opuesta, tendido del tablero y anclajes.

bina de cables principales se trasladó y montó en el debobinador con el auxilio de una grúa, para posteriormente proceder a su extendido. Con el fin de evitar daños en el cable se situaron en el cauce una serie de rodillos de náilon debidamente cimentados y se situó un bastidor con rodillos del mismo material en la cabeza de la pila.

A continuación se realizó el extendido del cable con la ayuda de un cabestrante de tiro con reenvío situado en la parte delantera del contrapeso 1. Una vez extendido e izado el cable, se colocaba y anclaba con la ayuda de un balancín y un pórtico grúa



dispuesto en la cabeza de la pila sobre su cama de asiento en la silla.

En la tercera fase se realizó el anclaje de cada cable en el contrapeso 1 y, posteriormente, en el contrapeso 2. Todas estas maniobras se repitieron para los 16 cables con la secuencia de afuera adentro y de abajo arriba. Seguidamente se realizó el tesado inicial de los cables principales desde el contrapeso 1 y la colocación de los bastidores y péndolas en su posición definitiva.

Una vez finalizado el montaje de las péndolas se procedió al izado sucesivo, mediante grúas, de las dovelas metálicas en las que se dividió el tablero, de 12 m. de longitud por 23 m. de ancho, con un

peso aproximado de 58 toneladas. Las dovelas se suspendían de 4 péndolas y se unían provisionalmente a la preferente mediante tornillería.

Cuando las dovelas estuvieron unidas se procedió a soldar la unión entre ellas. Posteriormente se realizó un segundo tesado de los cables principales desde el contrapeso 1.

Sobre las dovelas metálicas del tablero se montó una chapa grecada a modo de encofrado perdido que permitió la ejecución de una losa de hormigón armado de 21 cm. de canto. Una vez ejecutada la losa de hormigón se procedió a realizar el último tesado desde el contrapeso 1.

Corres Peiretti ha narrado este proceso constructivo pero no quiere concluir sin decir que “a la vista de la obra ejecutada, se puede comprobar su correspondencia con los requisitos del anteproyecto. Éstos se pueden concretar en los siguientes: la solución tiene un probado carácter singular e indudable valor estético y simbólico, se adapta adecuadamente al entorno, ya que es un puente ligero con un tablero muy esbelto y cables que resultan imperceptibles desde unos pocos metros de distancia, lo que conduce a un alzado transparente que minimiza el impacto sobre el entorno. Además, las pilas, cables principales y péndolas representan un conjunto monumental que puede considerarse representativo de la más avanzada tecnología de la última década del siglo XX, la armonía de la estructura invita a la contemplación y la pila puede ser aprovechada para crear un nuevo punto de vista inédito de la ciudad desde su mirador”. ■

PUENTE DEL BIMILENARIO

Situación: En la zona periurbana de Elche (Alicante)

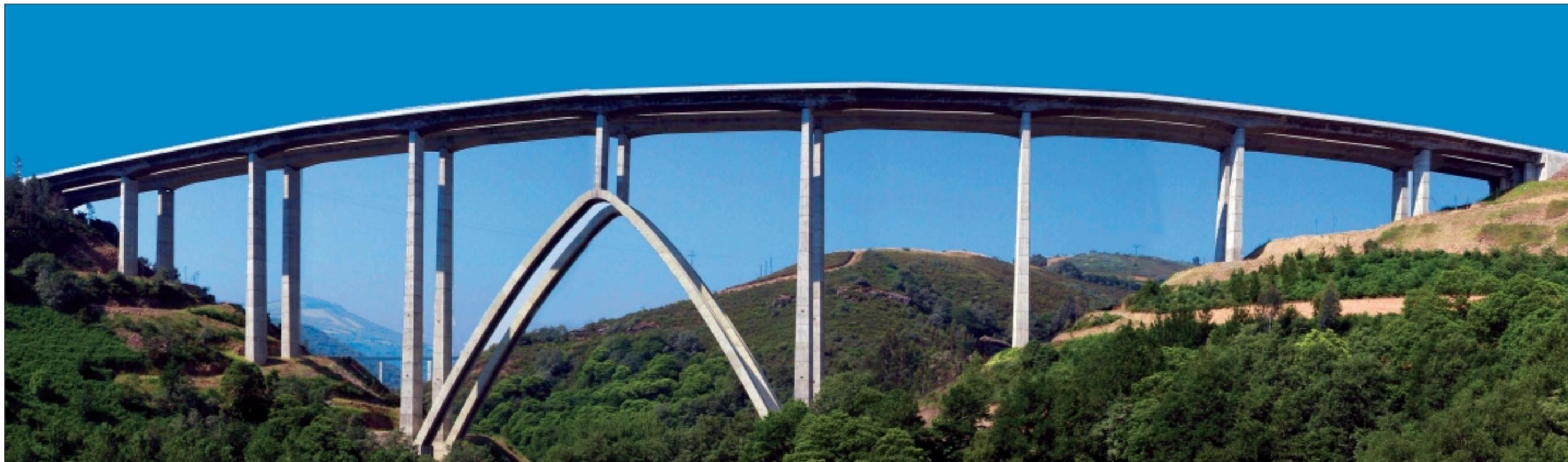
Años de construcción: 1997-2000

Tipología: Puente colgante asimétrico

Longitud total: 208 m.

Anchura del tablero: 23 m.

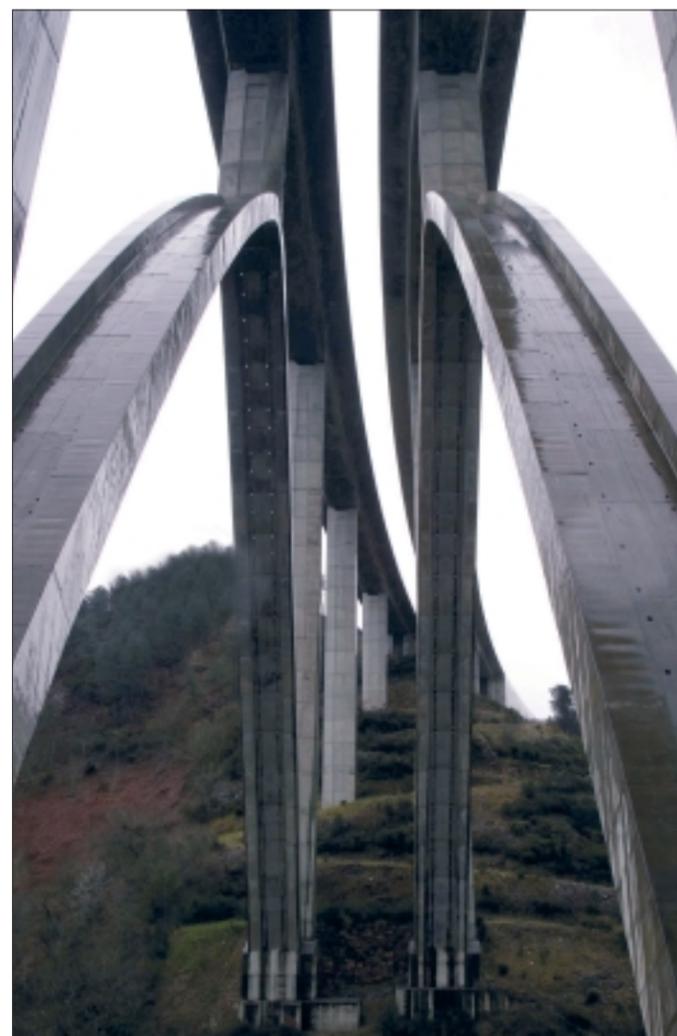
Autores: Fhecor Ingenieros Consultores, S.A., Hugo Corres Peiretti, José Romo Martín y Michael Schlaich



Domar la naturaleza

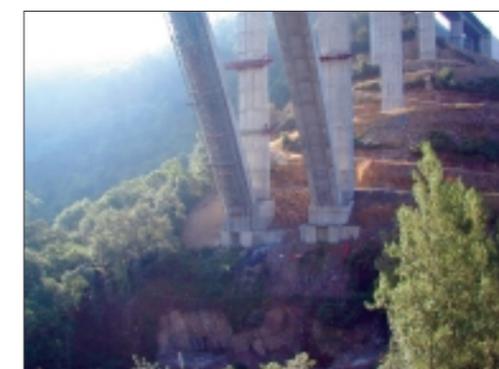
JOSÉ I. RODRÍGUEZ | FOTOS: CABALLERO

La conexión de las localidades de Villafranca del Bierzo (León) y Cereixal (Lugo) supuso la unión definitiva por autovía entre Madrid y Galicia y la superación del reto de salvar la complicada orografía del puerto de Piedrafita. Y ello, gracias a la construcción de 7 túneles dobles y nada menos que 41 viaductos en tan solo 53,5 kilómetros. Entre ellos, el que salva el río Narón, a 106 metros de altura de su cauce y con unos apoyos centrales separados por 95 metros que forman un falso arco apuntado.



El viaducto se asienta sobre pilas que alcanzan un máximo de 88 metros de altura.

El viaducto del Narón se sitúa en el tramo de Agüeira-Cereixal de la Autovía del Noroeste o A-6, ya en la provincia de Lugo. Se trata del último tramo en dirección Madrid-Galicia, que salva el puerto de Piedrafita, cuyas dificultades orográficas y geológicas han obligado a construir 41 viaductos, 6 túneles dobles y un túnel artificial, también doble, en los 53,5 km. de autovía. Entre las ventajas, el nuevo trazado, cuya utilización por el tráfico pesado alcanza valores del 33 %, permite una reducción de 20 minutos en el tiempo de recorrido; y además, un notable aumento en la seguridad y en la comodidad de la circulación.



El tramo Agüeira-Cereixal, de 7,2 kilómetros, discurre al este de la actual A-6, por la ladera opuesta de ésta, con un radio mínimo en planta de 700 metros y una pendiente máxima del 5%. A pesar de su escasa longitud ha sido preciso construir 5 importantes viaductos (1,925 kilómetros) y un túnel (0,8 kilómetros), diseñados para tres carriles por sentido. Entre ellos destaca el viaducto del río Narón, de 448 metros de longitud, que consta de dos tableros, uno por cada calzada.

► A 106 METROS SOBRE EL RÍO

Para salvar los condicionantes orográficos que imponía el terreno, sus pilas alcanzan una altura de 88 metros, mientras que la diferencia de cotas entre el punto medio del tablero y el cauce del río es de 106 metros. La luz de vano es de 47,5 metros, siendo la distancia entre los apoyos centrales de 95 metros, debido a que la pila correspondiente apoya sobre un falso arco apuntado, similar a un arco gótico de gran expresividad, que evita que los cimientos se encuentren el cauce del río.

La sección transversal del tablero está constituida por un cajón monocelular de hormigón pre-



tensado, con almas inclinadas, completado por dos voladizos laterales. El canto del tablero es variable, desde un canto máximo en pilas de 3,08 metros, hasta un valor mínimo de 1,83 metros; en cuanto a su anchura total es de 13,10 m. El núcleo del cajón está formado por dos almas de 0,40 metros de espesor y dos losas de canto variable, con un valor mínimo de 0,20 metros. El canto de la losa inferior varía longitudinalmente en las proximidades de los apoyos entre su valor mínimo y 0,50 metros sobre apoyos.

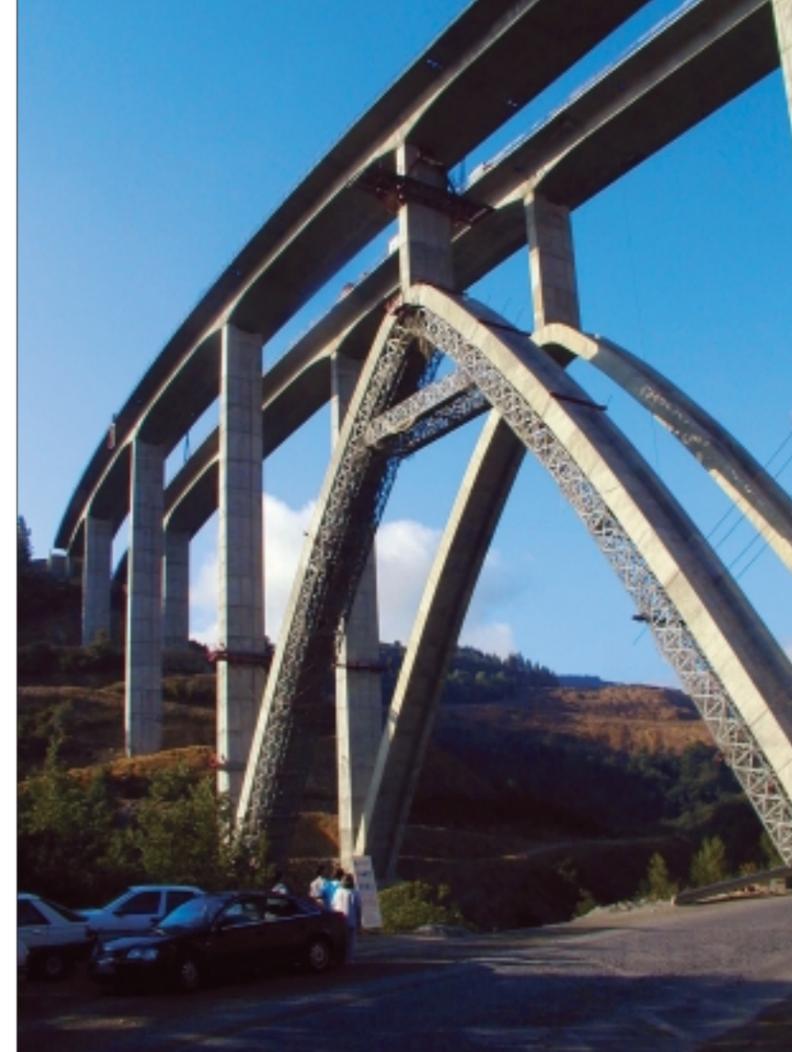
El esquema de pretensado es el correspondiente a puentes continuos construidos por el método de vanos sucesivos, interrumpiéndose en cada frente de fase. En la zona del frente de cada fase se produce el cruce de los tendones de dicha fase, que se anclan en el propio frente, con los de la fase consecutiva, que se anclan en una cuña situada en la cara interior del alma.

Las pilas están constituidas por fustes de hormigón armado, con sección transversal en cajón monocelular, disponiéndose uno por línea de apoyos. Las dimensiones exteriores de la sección transversal son 2,30 metros en sentido longitudi-

nal y 5,50 metros en sentido transversal; el espesor de los tabiques es 0,25 metros. Las alturas de pila oscilan entre 16 y 55 metros.

En el viaducto del río Narón se ha proyectado un arco de 95 metros de luz y 55 de flecha mediante el cual se salva el paso sobre el río, manteniendo la modulación de luces del tablero y evitando pilas en las proximidades del cauce. La sección del arco está formada por dos núcleos de escuadría 2 x 1,25 m. unidos mediante una lámina de 20 cm. de canto. Sobre el arco se dispone una pila idéntica a las demás, con una altura de unos 15 metros.

Los estribos, de tipo abierto, están constituidos por dos pantallas que soportan el dintel sobre el que



El apoyo central está formado por un falso arco apuntado, similar a los góticos, que da gran expresividad al puente.

apoya el tablero. La altura de los estribos varía entre 8 y 16 metros. La cimentación, tanto de pilas como de estribos, se realiza de forma directa, mediante zapatas superficiales, siendo la tensión media admisible de proyecto de 6 Kp/cm².

El proceso constructivo del puente comenzó con la realización de la infraestructura (cimentaciones) y la subestructura (pilas y estribos). Las pilas, dada su gran altura, se construyeron con encofrados trepadores.

En el viaducto de Narón, los arcos se ejecutaron sobre una cimbra, mediante el hormigonado de dovelas de 5 metros de forma simétrica. La cimbra fue diseñada expresamente para la construcción de cada uno de estos arcos, teniendo en cuenta el proceso constructivo de los mismos y el proceso de desmontaje, una vez finalizada su construcción.

El tablero se ejecutó mediante el método de vanos sucesivos con autocimbra, dividiendo su construcción en seis fases. La realización de cada fase constó de las siguientes operaciones:



colocación de la autocimbra y encofrados, disposición de las armaduras pasivas, vainas, anclajes y accesorios de pretensado, hormigonado, enfilado de los tendones de pretensado y tesado de los mismos, desencofrado y avance de la autocimbra.

En la primera fase se construyó el primer vano y un quinto del siguiente. A continuación se avanzó la autocimbra, apoyándose en la estructura ya construida y en torres provisionales adyacentes a las pilas. En las fases sucesivas se ejecutaron cuatro quintos de un vano y un quinto del siguiente, para finalizar con la construcción de cuatro quintos del último vano.

Próximo al itinerario de la Autovía del Noroeste a su paso por Piedrafita serpentea el Camino de Santiago, que en ningún momento se vio afectado por las obras. Los peregrinos fueron testigos de excepción, entre agosto de 1997 –fecha de inicio de las obras– y enero de 2001 y julio de 2002 –periodo en que se pusieron en servicio los últimos tramos– de cómo se levantaban las pilas de los nuevos viaductos y se abría una nueva vía de comunicación.

► UNA OBRA PREMIADA

El tramo de la Autovía del Noroeste correspondiente al paso de Piedrafita mereció el pasado año el Premio Internacional Puentes de Alcántara, en su octava edición, que distingue a las mejores obras públicas de España e Iberoamérica. El jurado valoró la gran dificultad orográfica y geológica de la zona, la integración de la obra en el entor-

El tablero se ejecutó mediante vanos sucesivos con autocimbra

no natural, el respeto al medio ambiente y la protección del patrimonio histórico en este tramo. Se trata de un total de 53,5 kilómetros en el que ha sido preciso construir un total de 41 viaductos, entre los que brilla con luz propia el que salva el río Narón.

► DEL POZO VINDEL

Florencio del Pozo Vindel, hijo de otro prestigioso especialista en puentes –Del Pozo Frutos– nació en Madrid en 1951, donde obtuvo el título de ingeniero de Caminos en 1973, el doctorado en 1978 y la cátedra en 1980. Desde enero de 1973 desarrolla una continua actividad en el diseño y proyecto de estructuras y otros trabajos de ingeniería civil.

Entre sus proyectos más recientes destacan los siguientes: los 13 viaductos en la autopista AP-6, a los que hay que añadir otros: sobre la M-40, en Madrid; el de la Balsa; dos en la autopista Highway 407 East Partial, en Canadá; sobre el río Torrox; el puente atirantado sobre el río Miño; Narón; viaductos de San Cosme y El Sordo; 11 viaductos en el tramo Caravaca-Alcantarilla (Murcia); puente sobre el río Águeda, en La Fregeneda; sobre el río Piedra; Aira; Cabañón; y el puente atirantado sobre el Iregua. Todas estas obras están fechadas en los primeros años de la década de los años noventa.

De 1998 son los viaductos de Bouzas, Torallo, Noceda, Silvela, Luanco, Chíllar, Istmo, Barranco de la Vid, Briallo y Baxoi, así como otros siete viaductos en el tramo Miño-Fene.



Arriba, vista aérea del viaducto. Abajo, base de una pila y del falso arco.

En 1996 proyectó la conexión fija de Isla Margarita con tierra firme, en Venezuela, mediante dos puentes continuos, así como el puente sobre el río Tera; el viaducto de Monterrey (México); cinco puentes continuos en la Autovía del Cantábrico y los viaductos de Miodelo, Oselle, Frades y Agra. Otras obras anteriores, de 1995, son los viaductos del río Navia, San Clodio, Herrería, Doncos, Espáriz, Chan de Vilar, Noceda (I), Noceda (II), Tinajón, El Judío y El Moro, La Reguera y Guareña. ■



VIADUCTO DEL NARÓN

Situación: Sobre el río Narón (Lugo), en la Autovía del Noroeste (tramo Agüeira-Cereixal)

Año de construcción: 2002

Longitud: 450 metros en la calzada derecha y 402,5 metros en la calzada izquierda

Anchura de tablero: 13,10 m.

Altura máxima de rasante: 85 m.

Luz del arco entre pilas: 95 m.

Autor: Florencio del Pozo Vindel



El balcón al mar

VÍCTOR MEDINA | FOTOS: CABALLERO

Este puente, que soporta el tráfico ferroviario, ha sido pieza clave en la ordenación del espacio portuario de la ciudad, integrando armónicamente la dársena interior con los límites urbanos. Su limpio diseño se ha constituido en todo un emblema del encuentro de la ciudad con su fachada marítima.

Con sus 98 metros de luz, este puente fue en su momento récord mundial en este tipo de construcciones.

El puente basculante del puerto de Valencia, un proyecto del ingeniero Julio Martínez Calzón, tiene dos hojas, formadas a su vez por una zona central en voladizo y un pequeño tramo dorsal de compensación, debajo del cual se encuentran los contrapesos. De este modo el centro de gravedad de las hojas móviles se localiza muy próximo al eje de giro de los tableros. El puente tiene una luz entre las rótulas de apoyo de 98 metros de longitud (todo un récord mundial en su categoría), y mide en total 125 metros en su conexión entre los muelles de Levante y Poniente. La anchura total del puente es de 9,2 metros, repartidos en 8 me-

tros del tablero y 1,2 metros de las dos vigas laterales; a esta anchura se le añaden dos aceras laterales de 1,2 metros.

► DISEÑO LIMPIO

Martínez Calzón apunta a este trabajo como el primero en el que aborda un puente móvil. “Fue en su momento récord mundial de puentes basculantes de ferrocarril, con 98 metros de luz. Tiene una solución personal de gran limpieza, un diseño muy limpio y unitario, en el que busqué que se distanciara del amasijo de grúas propio de un puerto, y que se pareciera más bien a un menhir”.



Dentro de su estructura, posee unos fosos donde se encuentran los cilindros de elevación del puente, los mecanismos de enclavamiento trasero, el tramo dorsal de compensación y el tramo dorsal de compensación. Los fosos permiten el barrido del tramo dorsal del puente durante la maniobra de apertura. La localización de los fosos, en el extremo de los muelles transversales, permite que el puente tenga una luz mínima para que esté libre toda la anchura de bocana en posición abierta. El manejo de las hojas se lleva a cabo desde las salas de máquinas, situadas junto a cada foso, y dirigidas desde la torre de control que se encuentra en el muelle Transversal de Poniente.

Para la construcción del puente basculante del puerto de Valencia se han tenido en cuenta los distintos factores de riesgo, incluso en situaciones extremas. Así, el proyecto se ha llevado a cabo considerando vientos con velocidades de 140 kilómetros por hora. Los mecanismos de elevación del puente trabajan sin problema alguno con vientos de 50 km/h. Otras eventualidades que pueden afectar negativamente a la construcción, y que

se han barajado para el proyecto, han sido cargas sísmicas, inerciales y fallos mecánicos. La posición cerrada del puente tiene en cuenta lo dispuesto por las normas de construcción de los puentes de ferrocarril y los de carretera. Para conferir resistencia y elasticidad al puente se ha optado por la disposición de un tablero inferior ortótropo con nervios transversales dispuestos de manera uniforme. El tablero está soportado por dos vigas laterales que combinan el tipo atirantado con un voladizo central. Estas vigas son de tipo cajón con rigidizadores interiores, y cuentan con un sistema de tirantes frontal y dorsal que recoge las grandes cargas del contrapeso y un puntal en compresión que transmite los esfuerzos a un punto situado sobre el eje de giro.

► **ECONOMÍA DE ESFUERZOS**

Una de las implantaciones más interesantes en el mecanismo que maneja los tableros afecta a la economía de esfuerzos y, lógicamente, de gastos. Se trata del sistema de vano dorsal y contrapeso que reduce al mínimo los esfuerzos, tan sólo lo su-



Izquierda, las dos hojas izadas del puente. Arriba, el foso alberga los mecanismos que permiten las distintas operaciones.

ficiente para vencer la oposición del viento. Los cilindros diseñados para tal fin están preparados para resistir esfuerzos de entre 260 y 300 toneladas, tanto en tracción como en compresión. En la posición de puente abierto los cilindros quedan recogidos, lo que les protege de daños accidentales y de la corrosión. Incluso aunque se dañe uno de los cilindros el sistema funciona con el restante; en este caso, las condiciones de viento máximas en las que puede operar se reducen a 35 kilómetros por hora.

El puente basculante de Valencia se enclava por medio de varios sistemas dorsales; uno, formado por dos topes laterales de acero que actúan sobre unos apoyos de neopreno fijados a la cimentación, y que resisten las reacciones verticales ascendentes producidas por los trenes de carga; otro, integrado por cerrojos dorsales que resisten las fuerzas

descendentes que se originan por cargas móviles; estos cerrojos se encargan también de soportar el puente en posición abierta, al enclavarlo en los nichos de recepción situados en la losa de fondo de fosos. El centro del puente queda enclavado mediante cuatro cerrojos situados en el interior de las vigas laterales principales.

El giro de los tableros se efectúa principalmente por medio de dos piezas de acero forjado de alta resistencia, apoyadas en rótulas esféricas. El procedimiento de elevación y enclavamiento es hidráulico, lubricado mediante aceite a presión. Dos grupos de cuatro bombas de tipo émbolo radial accionan cada uno de los tableros, con una potencia de 40 kilovatios por bomba y un caudal de 700 litros por minuto. El movimiento del puente se controla por válvulas reguladoras de presión y caudal controladas electrónicamente. Según sea la velocidad de elevación que se quiere imprimir al tablero, y la resistencia que hay que oponer al viento, así harán llegar los grupos de bombeo el caudal necesario para los cilindros.

Las operaciones de apertura y cierre del puente invierten un tiempo de dos minutos para la primera acción y tres para la segunda. La actividad no se ve interferida en el caso de que el viento pueda aumentar la presión en el sistema hasta superar la máxima de trabajo. En esa circunstancia, las válvulas de freno que actúan en los cilindros mantienen una contrapresión que dirige los tableros a sus topes. Y es que la seguridad y actividad del puente son las dos columnas de la construcción de este puente, diseñado para operar incluso de manera provisional si falla algún elemento. La interrupción del suministro eléctrico no supone un problema, ya que el puente dispone de dos subestaciones independientes que son alimentadas por un grupo generador diésel. Rizando el rizo, en caso de avería o emergencia, dos grupos motobombas diésel permiten un accionamiento manual de los cilindros.

Otro elemento importante en la estructura son los fosos, ideados tanto para alojar el recorrido de los tramos de compensación como para cimentar al puente. Están formados por muros pantalla perimetrales de

En su construcción se han tenido en cuenta todos los factores de riesgos extremos, incluso el azote de vientos superior a los 140 km/h

un metro de espesor y con una profundidad de 32 metros. Para su habilitación hubo que extraer los bloques de escollera que se encontraban en la profundidad, reminiscencias de antiguos diques en algunos casos con un peso de hasta diez toneladas que hacían imposible la excavación de los muros de pantalla. Después de rellenar el fondo con una mezcla de arena y arcilla hasta llegar a la llamada cota 2, se procedió a excavar cada módulo de los muros pantalla.

► OBRA SUBMARINA

Las características del entorno y la operatividad del puente obligaron a la remodelación de los muros de los muelles transversales, especialmente para mantener la anchura existente de bocana, situar los fosos en el interior de los muelles y el eje de las vías de ferrocarril lo más cerca al cantil del muelle. Para la remodelación se retiraron los bloques existentes y se reconstruyeron nuevas alineaciones con muelles monolíticos, con bloques en forma de T colocados entre sí y pegados con hormigón sumergido. El resultado es un muro de cinco metros de espesor que da a lugar a tramos de 20 metros de longitud sin junta alguna. De esta forma no se requieren encofrados sumergidos, procedimiento de difícil ejecución en zonas como bocanas, donde se producen olas por las estelas de embarcaciones. Este sistema también permite ejecutar las curvas de radio reducido sin tener que utilizar encofrados curvos.

Los trabajos realizados bajo el agua han incluido el tendido de cinco tuberías de 400 milímetros de diámetro que, convenientemente recubiertas de hormigón, contienen los cables de alimentación y control del puente.

Un astillero del mismo puerto de Valencia fue el lugar donde se fabricó la estructura metálica. Allí se realizó un montaje del mismo para comprobar su geometría y estudiar cómo encajaban los dos tramos centrales. Posteriormente se taladró y mecanizó el alojamiento de los ejes principales de giro, se montaron los mecanismos del enclavamiento y comprobó el funcionamiento. Tras estas labores se procedió a trasladar al emplazamiento del puente los cinco bloques que conforman cada una de las hojas del mismo, para su montaje *in situ*, lo que dio por terminada la habilitación de la estructura metálica. Antes de acabar cada hoja se procedió a la ejecución de los contrapesos, la colocación de carriles, la instalación de tuberías hidráulicas y la pintura de los acabados.



Hasta 48 horas de maniobras y trabajos se invirtieron en la colocación definitiva de los tableros del puente. Una vez lanzado y descendido cada uno de los semitableros, se procedió a anclar las bases de las rótulas de giro a su cimentación, se conectaron las tuberías hidráulicas de cada tablero a las instaladas en los fosos y, por fin, se realizó la primera prueba del puente. ■

El autor proyectó para el puente un diseño limpio que lo aleja del amasijo de grúas propio del puerto.

PUENTE BASCULANTE DE VALENCIA

Situación: Puerto de Valencia, entre los muelles de Levante y Poniente

Año de construcción: 2002

Longitud: 125 m.

Anchura de tablero: 8 m.

Autor: Julio Martínez Calzón



Las líneas aerodinámicas del tablero son toda una metáfora del tren al que sirven de soporte.



Rigor y belleza

SOLEDAD BÚRDALO | FOTOS: OFICINA DE PROYECTOS CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.A.

Como una gran viga hueca de 546 metros de longitud y 120 de luz, el puente de Osera de Ebro (Zaragoza) es una perfecta síntesis de belleza estética e innovación técnica, única en el mundo. Su estilizada figura, de formas suaves y aerodinámicas, se adapta perfectamente a su función de paso ferroviario de Alta Velocidad.



El corredor ferroviario de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-frontera francesa tiene en el nuevo y escultórico puente que cruza el Ebro una de sus infraestructuras más innovadoras y representativas. Rigor técnico y belleza plástica se dan la mano en esta obra singular, cuyas líneas suaves, deslizantes y aerodinámicas constituyen un trasunto del tren al que sirven de soporte. Y es que la Alta Velocidad ha inspirado el diseño de este atractivo puente, que adopta la forma de un enorme vagón por cuyo interior discurre el sutil y veloz convoy.

Morfológicamente se trata de una gran viga hueca de 546 metros de longitud y 120 metros de luz principal, por la que penetra y circula el tren. Una serie de aperturas circulares practicadas en los laterales –que recuerdan las ventanillas del tren- y rectangulares en la cubierta aportan luminosidad a la estructura, alejando su imagen de la de un túnel. La pieza, que llama poderosamente la atención por su expresividad plástica, alberga igualmente una importante carga innovadora en el orden técnico. Su novedoso tablero supone la adaptación de

la tradicional celosía metálica -tipología que ha sido una constante en los grandes puentes de ferrocarril a lo largo de la historia- al dominio estructural y constructivo del hormigón pretensado. El resultado es una solución totalmente nueva, no existe un puente así en el mundo, que refleja la valiente y creativa trayectoria de su autor.

Javier Manterola Armisen (Pamplona, 1936), considerado como uno de los más firmes baluartes de la ingeniería española actual, es el creador de esta avanzada propuesta. Catedrático de Puentes de la ETP de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, y autor de numerosos artículos y publicaciones, este ingeniero navarro ha ideado muchos de los mejores puentes realizados en España en los últimos treinta años. Suyos son el puente sobre el embalse de Barrios de Luna, en León; el Esukalduna, sobre la ría de Bilbao; el del río Lérez, en Pontevedra; el del río Pisuerga, en Valladolid; los nuevos puentes del Pilar sobre el Ebro, en Zaragoza; o el de Ventas, en Madrid, por citar sólo unos pocos ejemplos en los que se reflejan su dominio de las estructuras, de la estética y de la innovación. Manterola, que desde 1966 forma parte de la prestigiosa oficina de proyectos Carlos Fernández Casado, ha sido distinguido a lo largo de su dilatada trayectoria profesional con numerosos galardones nacionales e internacionales, entre ellos el Premio Nacional de Ingeniería Civil (2001), en reconocimiento a su ingente y magnífica obra. El nuevo puente sobre el río Ebro, en la línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-frontera francesa, inaugurado en mayo de 2002, se suma a este impresionante historial. En la ejecución del proyecto, ganador del premio Construmat 2003, ha participado asimismo un nutrido equipo técnico de la consultora Carlos Fernández Casado, integrado entre otros por los ingenieros Antonio Martínez Cutillas y Miguel Ángel Gil Ginés.

► **GRAN VIGA HUECA**

El nuevo viaducto, promovido por el Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF), se levanta en la localidad de Osera de Ebro (a unos 30 kilómetros de Zaragoza), concretamente en el subtramo II-b del tramo Zaragoza-Lleida, en un paraje donde el río tiene unos 120 metros de orilla a orilla. Sus 546 metros de longitud se dividen en dos zonas: la correspondiente al tramo de desagüe de las grandes avenidas, con 162 metros de longitud, distribuidos en un vano de 16 metros y otros seis de 24; y el paso sobre el río Ebro, de 384 metros de longitud, formado por un gran vano central de



120 metros de luz –el mayor de España en puentes de ferrocarril-, tres de 60, 60 y 42 metros en la margen izquierda, y otros dos de 60 y 42 metros en la derecha.

Como ya se avanzó unas líneas más arriba, el tramo correspondiente al cruce del río se formaliza como una gran viga hueca llena de orificios, capaz de aguantar el peso tanto de lo que tiene sobre ella –balasto, vía, instalaciones, báculos de electrificación, aceras, etc.- como del tren que la

A la izquierda, dos momentos de la construcción del puente. A la derecha, vista de su estructura a pie de la línea de Alta Velocidad.



atraviesa. Estructuralmente se trata de una viga *vierendeel*, con 9,15 metros de canto y 16,56 de ancho, con los laterales recorridos por grandes ventanas circulares de 3,80 metros de diámetro, que se suceden cada seis metros, y cuyo espesor oscila entre 0.50 y 060 metros en la zona de apoyos. La cubierta está igualmente aligerada, con la parte central constituida a base de costillas transversales, situadas también cada 6 metros. Su comportamiento resistente se asegura mediante tres líneas de pretensado: longitudinal, vertical y transversal, en las que participan varias familias de cables.

El tablero se apoya en 12 pilas, cuya imagen rotunda guarda sintonía con la contundente presencia de la viga cajón. Cada una de estos apoyos se formaliza en dos fustes independientes, aunque con cimentación común. Las pilas correspondientes al puente principal, de 12 metros de altura y 4 de espesor, se obtienen por secciones de un único cilindro constan-

te de sección curvilínea. Las de los apoyos, también de sección curvilínea, tienen una altura de 10,5 metros y 2,3 de ancho.

► **COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL**

La presencia de perforaciones o aligeramientos, que hacen tan atractiva y singular la imagen del puente, comportan, no obstante, una mayor complejidad estructural, que obligó al empleo de las más avanzadas tecnologías para poder estudiar con precisión el comportamiento resistente. Especialmente interesante es la compleja y sofisticada metodología de cálculo utilizada para la determinación de esfuerzos, tensiones y deformaciones. Como se explica en el proyecto, “la particularidad de esta tipología obligó a considerar con detenimiento tanto la metodología como los elementos de cálculo apropiados. Al tratarse de un tablero

Para la construcción del puente se optó por el procedimiento de empuje desde sendos estribos



con una sección no homogénea longitudinalmente, tiene un comportamiento claramente tridimensional que hace imprescindible la utilización de técnicas de elementos finitos. Este comportamiento especial lo provoca la presencia de aligeramientos circulares en las almas así como las costillas superiores discontinuas”.

El cálculo completo por elementos finitos permitió analizar el comportamiento tridimensional de la estructura, imposible de realizar con los métodos habituales de cálculo.

Para la construcción del puente se optó por el procedimiento de empuje desde ambos estribos, lo que permitió instalar su enorme masa sobre el río sin necesidad de cimbras ni de apoyos provisionales. A cada lado del río, adosados a los estribos, se instalaron sendos parques de fabricación desde los que se fueron construyendo y empujando los dos semipuentes, que se unieron en el centro mediante una dovela de cierre de 6 metros. En la margen derecha, el puente se dividió en 23 dovelas, y en 15 el de la izquierda. Todas ellas con secciones que oscilan entre 12, 18 y 24 metros, dependiendo de su posición. Una vez hormigonada y pretensada, la dovela se empuja hacia adelante con la ayuda de una pieza metálica llamada “nariz” o pico de avance y gatos de empuje, dejando libre el parque para que se hormigone la siguiente dovela, que se cose con cables de pretensado a la anterior. Se empujan ambas hacia delante, y así sucesivamente hasta terminar los dos medios puentes, cuya unión se lleva a cabo mediante una dovela de cierre, de seis metros de longitud, que se pretensa.

El resultado de todo ese esfuerzo técnico y constructivo es un puente único, innovador en la forma y en la estructura, que se ha convertido en el símbolo de la línea de Alta Velocidad en la que se inscribe. ■



PUENTE SOBRE EL RÍO EBRO EN LA LAV MADRID-BARCELONA

Situación: Osera de Ebro (Zaragoza), en el subtramo II-b del tramo Zaragoza-Lleida

Año de construcción: 2002

Tipología: Celosía recta de hormigón pretensado

Longitud total: 546 metros, distribuidos en un puente principal de 384 metros (seis vanos de 42, 60, 120, 60 y 42 metros), y un viaducto de acceso de 162 metros (un vano de 16 metros y otros seis de 24)

Altura de las pilas: 12 m.

Autor: Javier Manterola y Oficina de Proyectos Carlos Fernández Casado

Dos detalles del tablero y los pilares que permiten apreciar la rotunda expresividad plástica de este puente.



Luz sobre el abismo

JOSÉ I. RODRÍGUEZ | FOTOS: FERROVIAL-AGROMÁN

Para unir las dos orillas del barranco de Los Tilos, de unos 150 metros de profundidad, se está construyendo un arco que se eleva sobre paredes casi verticales para permitir la circulación de vehículos por la carretera comarcal C-830 en la isla canaria de La Palma, en el tramo Tenagua-Los Sauces. La luz del arco de hormigón es de 255 metros, lo que la convierte en una de las mayores luces en este material –decimotercera en el mundo–, así como uno de los arcos más esbeltos.



El viaducto en distintas fases de su construcción.

La carretera comarcal C-830, que bordea la isla canaria de La Palma por el este, se está acondicionando a las exigencias del tráfico actual. En el tramo Tenagua-Los Sauces las obras incluyen un gran viaducto para salvar el barranco de Los Tilos, cuyas obras avanzan a buen ritmo y se espera que pueda entrar en servicio a lo largo de este año.

El barranco se sitúa al final de un gran parque natural y la zona en la que se construye el puente es profunda, de laderas muy escarpadas, sobre todo la del lado sur, que forma un acantilado casi vertical de unos 150 metros de profundidad, mientras que la pendiente de la otra ladera no es tan pronunciada.

La distancia entre las dos laderas es de unos 105 metros en el fondo y aumenta hasta unos 290 m. en la coronación. En el nivel donde se sitúan las zapatas la distancia es de unos 250 m., con lo que la luz del arco es de 255 metros, el decimotercero más grande del mundo construido en hormigón.

El proyecto original, realizado por el ingeniero Manuel Juliá Vilardell, se remonta a diciembre de 1995 y planteaba la construcción en avance del arco en voladizo atirantado a torres situadas a la altura de los estribos.

Cuando en 1999 el Gobierno de Canarias adjudicó la obra a la constructora Agromán (en ese momento se fusiona con Ferrovial), se presentó una petición para redactar un proyecto modificado que acomodara el proceso constructivo a la experiencia de la nueva empresa en arcos de gran luz. El proyecto modificado, redactado por los ingenieros Santiago Pérez-Fadón, José Emilio Herrero, Juan José Sánchez y Marcos Sánchez, contempla un cambio en el método de construcción con el fin de utilizar el de avance en voladizos del conjunto: arco, pila y tablero con diagonales temporales.

Con el cambio en el método de construcción del arco de Los Tilos, se han modificado las dimensiones de las secciones, los materiales y las armaduras. Sin embargo, se han mantenido las dimensiones generales –relación luz/flecha, distancia entre pilas, etc.– y algunos detalles del diseño, como la distancia del tablero al arco en la clave.

► CARACTERÍSTICAS DEL VIADUCTO

La estructura completa consta del arco propiamente dicho y sendos viaductos de acceso en cada ladera, con una longitud total de 319 metros. Los viaductos de acceso tienen 32 m. de longitud con dos vanos cada uno de 15 y 17 metros respectivamente. Sobre el arco hay otros 15 vanos de 17 metros de luz.

El arco tiene una luz de 255 metros y su flecha es de 46,2 m., con lo que la relación luz/flecha es de 5,52. En otras palabras, el arco tiene una forma clásica, bastante peraltado, lo que le confiere una mayor aceptación desde el punto de vista estético, mientras que desde el punto de vista estático determina que los esfuerzos axiales no sean especialmente grandes.

El puente es casi simétrico, con el mismo número de vanos de igual luz a derecha e izquierda; pero la rampa longitudinal junto con la diferencia de cota del terreno en ambas laderas hace que, inevitablemente, las pilas y el estribo del semi-arco norte sean más altas que las del sur. Esto, aparte de su repercusión en el efecto estético, produce una estructura más flexible en el semi-arco norte que en el sur.

En el proceso de construcción, durante el voladizo, las pilas y el arco trabajan principalmente a compresión, por lo que se han diseñado de hormigón de alta resistencia para disminuir los espesores y la carga; en cambio, las diagonales y el tablero trabajan principalmente a tracción, de ahí que se haya optado por el acero.

El tablero está formado sólo por las dos vigas metálicas, por lo que es fundamental la rigidez del arriostramiento horizontal entre ellas a fin de que la inercia sea la del conjunto y no la suma de las individuales de las dos vigas. Si además se tiene en cuenta que el hormigón de alta resistencia es más rígido, se puede llegar a una esbeltez realmente récord para el arco.



Para fijar las dimensiones se hicieron cálculos que determinaron una sección de 6 metros de ancho y 3 m. de canto, lo que significa una relación luz/canto de 85. Al mismo tiempo, se fijaron los espesores de las paredes del cajón: 20 cm. para las losas superior e inferior del cajón y 25 cm. para las almas que, en principio, tenían mayor dificultad de colocación. No obstante, en el primer recuadro, donde los requerimientos de flexión son mayores, estos espesores se aumentan hasta 30 y 40 cm. respectivamente.

Por otro lado, las pilas, lo mismo que el arco, representan una fracción importante del peso de la estructura que se ha pretendido disminuir, reduciendo sus dimensiones y el espesor de sus pare-

El cambio en el método constructivo ha mantenido las dimensiones generales del proyecto, pero ha modificado los parámetros de secciones, materiales y armaduras.



des. En primer lugar se decidió que, en el plano del puente, fueran de ancho diferente unas de otras

según su altura; y por otra parte, que en el plano transversal fueran todas de igual ancho. Así, las pilas varían sus dimensiones en planta desde 4 x 1,30 metros, para la pila situada sobre el estribo del arco que es la más alta, hasta 4 x 0,90 m. para las que están en el centro del arco. En cuanto a espesores, se han diseñado con 30 cm. y hormigón ordinario las que están fuera del arco y con 20

El viaducto, que salva un barranco de 150 metros de profundidad, será uno de los de mayor luz del mundo

cm. y hormigón de alta resistencia las que gravitan sobre el arco.

Para el dimensionamiento de la sección transversal de las vigas metálicas, se tuvo en cuenta, entre otras cuestiones, que las 2.000 toneladas debidas exclusivamente a la tracción del peso se llegan a transformar en 3.000 toneladas por la flexión horizontal debida al viento. También se consideró la acción de los elementos de construcción que ruedan sobre estas vigas, sobre todo la grúa, que producen unos esfuerzos locales.

Por otra parte, era preocupante la calidad de la soldadura que habría de ejecutarse a 150 metros de altura sobre el terreno y en una zona expuesta directamente a los vientos del Atlántico. Por ello, se pensó en realizar las uniones de los tramos de estas vigas por medio de tornillos de alta resistencia, aunque después se extendió la idea a toda la estructura, lo que redonda en mayor seguridad y en un montaje más rápido.

En cuanto a los vanos del viaducto de acceso, se decidió que fueran mixtos, ya que durante la construcción tenían que llevar el tiro horizontal hasta los estribos y de éstos al terreno. Con objeto de asegurar un correcto ensamblaje en la obra se realiza en taller un montaje en blanco de hasta tres tableros consecutivos, incluidas las riostras de pila y el arriostramiento transversal.

► ESTRIBOS DE DIVERSA ALTURA

Para el anclaje al terreno, el estribo del lado sur es relativamente bajo, de menos de 6 metros de altura desde la cara inferior de la zapata hasta la rasante de la carretera; sin embargo, es proporcionalmente muy largo debido a que se necesita espacio para los anclajes que van a proporcionar la reacción para equilibrar el tiro del tablero durante la construcción.

El estribo norte es mucho más alto porque la rasante de la carretera sube con el 1,14% desde el estribo sur y debido a que el terreno está unos 10 metros más bajo. Así, este estribo tiene unos 20 metros de altura y debe soportar la reacción horizontal del voladizo durante la construcción. Debido a su altura y con el fin de evitar el empuje de las tierras, se ha optado por pre-comprimir el estribo con los cables de retenida para equilibrar la reacción horizontal del tablero al igual que se ha hecho en el estribo sur, por lo que se ha diseñado como estribo hueco.

Se trata de un cajón con la suficiente capacidad para poder anclar en sus aristas longitudinales superiores los cables y pretensar el conjunto contra el terreno. En total, son cuatro grupos de cables, cada grupo es de 5 tendones y cada tendón es de 19 cordones de 0,6" de diámetro. Como los cables están inclinados entre 40° y 50° proporcionan una componente horizontal de 4.200 toneladas, que son las que equilibran el tiro del tablero.

A la hora de plantear las cimentaciones, se ha tenido en cuenta que las laderas del barranco, como el resto de la isla, son de origen volcánico. Están formadas por una alternancia desordenada de basalto vacuolar y escorias o piroclastos. Además, hay abundancia de fracturas o chimeneas volcánicas con o sin relleno piroclástico.

Después de trece sondeos para estudiar las cimentaciones de estribos y pilas, se ha detectado que la distribución de los materiales es tan aleatoria y la presencia de cuevas tan abundante que ha habido que recurrir a analizar las cimentaciones *in situ* y, en los casos que ha sido posible, se ha profundizado la excavación para encontrar un nivel de basalto y desde allí recrecer con hormigón pobre.

En todo caso, se ha hecho un relleno de las cuevas mayores que afloraban a la ladera por debajo del estribo del arco; y, además, una campaña de inyecciones sistemáticas en cuadrícula de 1.50 x 1.50 metros por debajo y por detrás de la zapata del arco. Durante la realización de los taladros para las inyecciones se detectaron numerosas cuevas menores que fueron convenientemente inyectadas.

► TRES AUTORES

Santiago Pérez-Fadón. Ingeniero de caminos, canales y puertos por la Escuela de Madrid desde 1971, trabajó entre 1970 y 1981 en Euroestudios, S.A., donde ejerce diversas especialidades para terminar este periodo como director del departamento de Puentes. Desde 1981 desarrolla su trabajo en Ferrovial-Agromán, comenzando como jefe de Puentes hasta llegar a ser director técnico, cargo que desempeña en la actualidad. Perteneció de forma activa a varias comisiones de sociedades y normativa de estructuras nacionales e internacionales y ha impartido numerosas conferencias y escrito numerosos artículos sobre puentes.

Entre sus proyectos construidos más conocidos se encuentran el puente sobre la ría de Arosa; los



viaductos de Cruzul y Horta, de dovelas prefabricadas, y toda una serie de puentes de dovelas de hasta 125 metros de luz; varios viaductos empujados para el AVE; el viaducto de Juncal, en Canarias, y el arco de Ricobayo, arco mixto de acero y hormigón de 168 metros de luz.

José Emilio Herrero. Ingeniero de caminos, canales y puertos por la Escuela de Madrid desde 1983, hasta el año 86 trabaja en Callfersa Estructuras Metálicas, proyectando naves industriales y centros comerciales, así como la ejecución de algunos puentes. Posteriormente pasa al departamento de Puentes de la dirección técnica de Fe-



Diversas fases de la construcción del esbelto viaducto sobre el profundo barranco de Los Tilos.

rovial-Agromán, donde participa, primero como ingeniero de proyectos y más tarde como jefe del departamento de Puentes, en el desarrollo de diferentes proyectos, entre los que se puede destacar una serie de puentes de dovelas de hasta 125 metros de luz; varios viaductos empujados para el AVE; viaducto de Juncal, en Canarias, de voladizos *in situ* de 125 metros de luz, y el arco de Ricobayo. Participa de forma activa en diferentes comisiones científicas y grupos de trabajo.

Juan José Sánchez Ramírez. Ingeniero de caminos, canales y puertos por la Escuela de Madrid desde 1995, ingresa en 1996 en la dirección técnica de Ferrovial, pasando por diversas especialidades. Ha participado en proyectos como la Autopista de la Costa del Sol, en Málaga; los túneles de Artxanda, en Bilbao; los viaductos del Papiol (puentes empujados) del AVE Madrid-Barcelona; y desde hace unos años en el proyecto y asistencia técnica a la construcción del arco de Los Tilos. Ha colaborado en congresos de puentes y escrito artículos para diversas publicaciones.

El arco de hormigón que ostenta en estos momentos el récord de luz es el de Wanxian sobre el río Yangtsé, en China, de 420 metros de luz, cuya construcción, por el método de autocimbra, concluyó en 1997. Esta obra esconde un parecido extraordinario con un arco bien conocido por los proyectistas españoles de puen-

tes: el arco de Martín Gil, en Zamora, que con sus 200 metros de luz para ferrocarril fue récord de luz en su día.

► CONSTRUIR POR RECUADROS

El método de construcción del arco de Los Tilos ha sido el de avance en voladizos del conjunto, que consiste en ir realizando, simultáneamente, arco, pila y tablero por recuadros. Éste es el proceso para la construcción de un recuadro:

- Se empieza por realizar el tramo de arco con ayuda de un carro de voladizos que hormigona el tramo en tres o cuatro dovelas, cada una de las cuales se tensa con un tirante auxiliar durante el tiempo que son extremo de tramo.
- Cuando se termina el tramo de arco se atiranta el extremo con una diagonal temporal (cables de alto límite elástico que va hasta la cabeza de la pila anterior).
- Se construye la pila mediante un encofrado de trepa.
- Se coloca un tramo de tablero entre la pila anterior y la que se acaba de construir.
- Se inicia un nuevo recuadro, un nuevo ciclo. Así se va avanzando en voladizo desde el estribo de cada semi-arco hasta la clave.
- Cuando se llega al centro desde ambos voladizos, se realiza "la apertura" del arco y luego se hormigona la clave. ■

VIADUCTO DE LOS TILOS

Situación: En la isla de La Palma, en el tramo Tenagua-Los Saucos de la carretera C-830, sobre el barranco de Los Tilos

Año de construcción: En fase de ejecución y prevista su finalización en 2004

Longitud: 319 m., incluidos sendos viaductos de acceso de 15 y 17 m.

Achura de tablero: 6 m.

Luz: 255 m.

Flecha: 46, 2 m.

Autores: Santiago Pérez-Fadón, José Emilio Herrero y Juan José Sánchez Ramírez, sobre proyecto original de Manuel Juliá Vilardell

- **Arenas, Juan José:** Caminos en el aire: los puentes. Vol. I y II. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, Nº 57. Madrid, 2002.

- **Chías Navarro, Pilar y Abad Balboa, Tomás** (textos y dirección técnica): Puentes de España. Fomento de Construcciones y Contratas, S.A., Madrid, 1994.

- **Fernández Troyano, Leonardo:** Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, Nº 55. Madrid, 1999.

- **Foronda Aguilera, M.:** Estancias y viajes del Emperador Carlos V desde el día de su nacimiento hasta el de su muerte. Madrid, 1914.

- **Frampton, Kenneth y C. Webster, Anthony:** Calatrava bridges. Birkhäuser. Basilea, 1996.

- **García Tapia, N.:** Ingeniería civil española en el Renacimiento, en Cuatro conferencias sobre la historia de la ingeniería de obras públicas en España. MOPU. Madrid, 1987.

- **Hernández García, V.:** Almaraz, una villa con historia. Madrid, 1980.

- **Jodidio, Philip:** Santiago Calatrava. Taschen. Colonia, 1998.

- **Morán Martín, R.:** El señorío de Benamejé. Origen y evolución en el siglo XIX. Córdoba, 1986.

- **Muller, Juan:** Tratado de fortificación, traducido y aumentado por Manuel Sánchez Taramas. Barcelona, 1769.

- **Navascués, Pedro:** El libro de arquitectura de Hernán Ruiz, el Joven. Madrid, 1974.

- **Pérez Trimiño, Alfredo:** Puente Vizcaya. Mi vida en imágenes. Edita El Transbordador de Vizcaya. Bilbao, 2000.

- **Ponz, Antonio:** Viaje de España 1725-1792. Tomo VII.

- **Compañía MZA.** Proyecto descriptivo del Puente Internacional sobre el río Águeda. Real Antigua. Servicio de Vías y Obras, 1879. Fundación de Ferrocarriles Españoles.

- **Quintanilla, Condesa de:** Datos sobre la construcción del puente de Almaraz. Badajoz, 1958.

- **Revista El Croquis**, nº 38. El Croquis Editorial (Madrid).

- **Revista Hormigón y Acero**, nº 196. 1995.

- **Revista L'Industria Italiana del Cemento**, Nº 7. 1971.

- **Revista de Obras Públicas.** Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Números 2039 y 2040, octubre de 1914; número 3.388, junio de 1999 (bicentenario 1799-1999).

- **Revista del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.** Guía de los puentes de España. Nº 345, julio-agosto 1987.

- **Varios autores:** Carlos Fernández Casado. Esteyco. Madrid, 1977.

- **Varios autores:** El camino de Andalucía. Itinerarios históricos entre la Meseta y el valle del Guadalquivir. MOPT. Madrid, 1993.

- **Varios autores:** Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1999.

AGRADECIMIENTOS

La Revista del Ministerio de Fomento agradece la generosa colaboración prestada para la elaboración de este número monográfico por los ingenieros Hugo Corres Peiretti (Fhecor Ingenieros Consultores S.A.), Leonardo Fernández Troyano y Javier Mantecola Armisen (Oficina de Proyectos Carlos Fernández Casado, S.A.), Julio Martínez Calzón (MC2 Estudio de Ingeniería), Javier Rui-Wamba (Esteyco) y Santiago Pérez-Fadón, por las sociedades Transbordador de Vizcaya y Apia XXI, y por Evelia Vega (Archivo General de la Administración).

Centro virtual de publicaciones del Ministerio de Fomento:

www.fomento.gob.es

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Título de la obra: *Revista del Ministerio de Fomento, Extra nº 531, julio-agosto 2004.*
33 PUENTES SINGULARES DE ESPAÑA

Año de edición: **Agosto 2004**

Edición digital:

1ª edición electrónica: **Septiembre 2013**

Formato: **PDF**

Tamaño: **29 MB**

NIPO: 161-13-099-X

I.S.S.N.: 1577-4929

P.V.P. (IVA incluido): 1,50 €

Edita:

Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Fomento©

Aviso Legal: Todos los derechos reservados. Esta publicación no podrá ser reproducida ni en todo, ni en parte, ni transmitida por sistema de recuperación de información en ninguna forma ni en ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico o cualquier otro.

