



VIAJES: Recorrido por el Duero internacional

CAUCE

AÑO 2006

2 0 0 0

NÚMERO 133 - 6 €

ENTREVISTA

Ana Paula Vitorino,
Secretaria de Estado
de Transporte del
MOP de Portugal

REPORTAJE

Puente Infante
D. Henrique,
en Oporto

ESPAÑA Y PORTUGAL

Hacia una unión sólida

EL PUENTE INFANTE D. HENRIQUE
SOBRE EL RIO DUERO EN OPORTO

Una apuesta peninsular ibérica

Por FRANCISCO MILLANES MATO, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
y ANTÓNIO ADÃO DA FONSECA, ingeniero Civil



El Puente Infante D. Henrique responde a una concepción estructural fuerte y rotunda, de la que se derivan sus principales virtudes de **simplicidad formal**, pureza estructural y regularidad geométrica. Vuela por encima del Duero y se trata de una actuación única, quizás irrepetible, sobre un río peninsular, portugués y español.



n salto sobre el Duero obliga mismo. Cualquier texto sobre la ciudad de Oporto también es, inevitablemente, un texto sobre el río Duero. Y hablar de Oporto es hablar de Gaia, la ciudad gemela en la margen izquierda del río. Ha sido por él y a través de él que se conformaron ambas ciudades, crecieron y, naturalmente, se dividieron. El río Duero ha sido su factor fundamental de unión y división. Las condiciones naturales del desarrollo urbano más allá de sus márgenes, así como políticas urbanas poco acertadas han propiciado que, con demasiada frecuencia, Oporto y Gaia le dieran la espalda y lo abandonaran. Felizmente, el final del siglo XX parece que nos ha traído su redensubrimiento.

"Dice un proverbio chino que el error pierde importancia desde que se aprende con él". ("A propósito do Rio Douro", Eugénio de Andrade)

OPORTO Y SUS PUENTES

Un río de aguas nobles entre escarpadas laderas de granito que se resisten a la erosión del tiempo y del hombre. Dos ciudades unidas por puentes siempre singulares.

"Entre Oporto y Oporto, están los puentes."

(...) Junto al río, Oporto se convirtió en la ciudad de los puentes. Estos le trazaron el destino, fueron sus puertas, le dieron nuevos caminos para desarrollarse ("A cidade e as pontes", David Pontes)

A lo largo de los siglos, las poblaciones ribereñas de Oporto y Gaia tuvieron el deseo y la necesidad de comunicarse, de intercambiar bienes y servicios. Todos los grabados antiguos reflejan un intenso tráfico de embarcaciones entre ambas márgenes. En 1744 se establece una conexión regular para el paso entre las dos ciudades. En 1806 se construye el primer Puente de las Barcas de carácter permanente, únicamente desmontado en épocas de inundaciones. Ya con carácter ocasional, en grandes festividades o para facilitar el paso de ejércitos, se habían acometido pasadizos asentados sobre barcazas en el río, creándose una cierta tecnología propia en puentes de este tipo, que parece datar del siglo XIV...

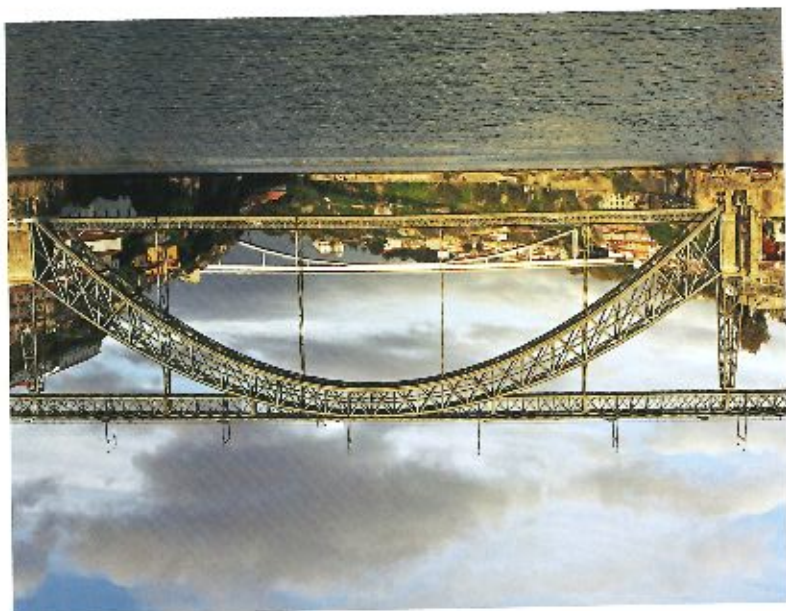
Tras sucesivos desastres por accidentes, incendios e inundaciones, en 1843 se puso en servicio un Puente Colgante, de 170 m de luz, cuya permanencia fue muy efímera, consecuencia de su rápida corrosión y excesiva deformabilidad.

Los puentes modernos, constituidos todos ellos en símbolos actuales de la ciudad, lo son tanto de la pujanza de la misma como de las innovaciones en la técnica del proyecto y construcción de puentes desde el último cuarto del siglo XIX. Todos ellos resultaron ganadores de concursos internacionales, entre empresas y proyectistas del máximo prestigio, e incluyeron en sus diseños records mundiales y avances tecnológicos hasta entonces no aplicados. En todos ellos las cualidades técnicas y estéticas fueron siempre valoradas por encima de las meramente económicas.

tenía que permitir que sus antecesores del del Luis I y del María Pia. El nuevo puente que conecta los arrabiques al borde del río paradigático paseo de ribera Gustavo Eiffel, por encima del río Duero y de gran cota alta, por encima del río Duero y de gran personalidad. El nuevo puente debía volar, a un entorno urbano muy definido y de gran cuidados y una integración enriquecedora en con la época, unas cualidades estéticas muy jugar un nivel tecnológico innovador acorde económicos. La solución escogida debía responder a un reto técnico especialmente singular. Se premiaban más los aspectos de las bases de concurso de proyecto y obra convocados por Metro de Porto, S.A., debía El nuevo puente Infante D. Henrique, según Mundial por la UNESCO.

de un entorno protegido como Patrimonio conformado como parte del paisaje urbano obras de ingeniería que, hoy día, ya se han de Arrábida y S. João, todos ellos grandes entre los más modernos, aunque ya clásicos, sarta para ubicarse entre ellos, así como estéticas debían dotar de la dignidad necesaria para ubicarse entre ellos, así como consagrados, pero cuyas cualidades técnicas y el derecho de competir con ellos, ya del siglo XXI, un puente nuevo que no ten-

En primer plano,
el puente Luis I.
Al fondo, puente
Infante
D. Henrique.



Los puentes arco de hormigón de mayor luz del mundo

NOMBRE	UBICACIÓN	PAIS	AÑO	LUZ PRINCIPAL (m)
Wanhsing	Yang ze River	China	1996	420
Kik I	Kik Island	Croacia	1980	390
Longjiao	Wu River	China	1995	330
Gaoxing	Guang Xi	China	1996	312
Gaoxing	Bahia Sydney	Australia	1964	305
Arribada	Rio Parana	Brasil/Paraguay	1964	290
Infante D. Henrique	Rio Duero Porto	Portugal	2002	280
Wankrans	Van Students Gorge	Sudáfrica	1983	272
Arribada	Rio Duero Porto	Portugal	1963	270
Arribada	Suecia	Suecia	1943	264

XIX. Entre ambos se planteaba, en el inicio límite de la innovación tecnológica del siglo con soluciones de gran ingenio y arte, en el doros de sendos concursos internacionales Ambos habían sido ya, en su época, gana- puentes históricos de Luis I y de María Pia. alta, a medio camino entre los magníficos rico de ambas, situándolo, también a cota- plazamiento respecto al centro antiguo histórico urbano de Gaia y Oporto aconsejaba su desconexión rodada con el actual entramado puente metálico. El engarce del nuevo vial de vial hasta entonces ubicado sobre el famoso cota alta, que permitiera la usrupación del ambas ciudades un nuevo enlace carretero, a do Porto, S.A. debía, por tanto, restituir a Luis I resultó ser la solución idónea. Metro Aprochar el tablero superior del puente, a baja cota respecto de la superficie, de los potentes sustos graníticos existentes, aba, como gran parte de su trazado a causa- altas de las dos ciudades ribereñas, se plante- de Oporto, que debía conectar las partes El salto sobre el río Duero del nuevo metro

El Cliente. El Concurso. El Equipo

- Puentes de S. João (1991), también de Car- gía. record del mundo de su tipo- luz, fue durante algún tiempo sor Cardoso que, con 270 m de de hormigón armado del profe- construido con dicho material. do el más grande todavía en uso de 172 m de luz y que sigue sien- un arco doble de hierro forjado, presentó al concurso. Se trata de do de G. Eiffel, que también se to de T. Seyrig, discípulo aventaja- Puentes de Luis I (1886), proyec- arco metálicos ferroviarios. mundo en su día de los puentes tado y construido por G. Eiffel, con 160 m de luz, record del

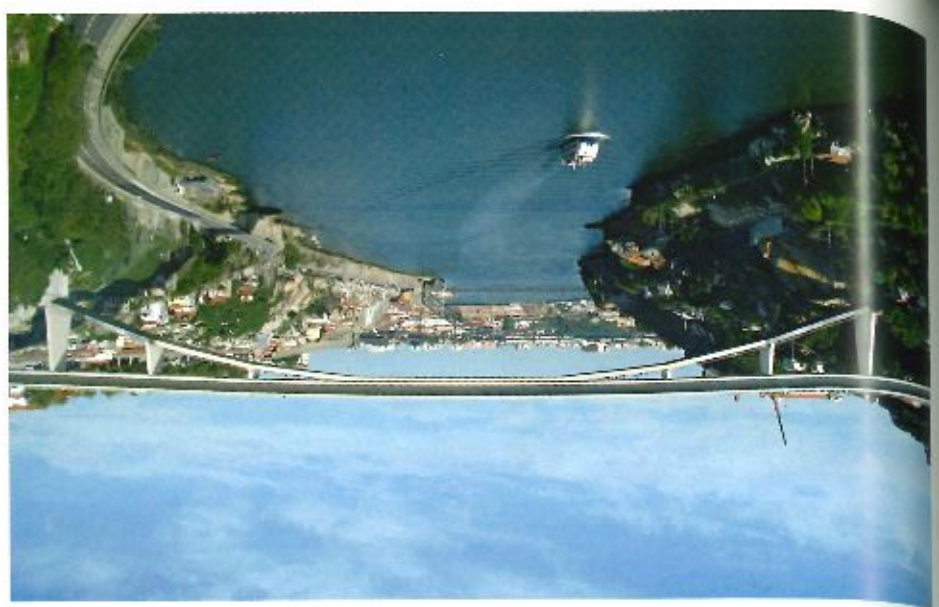
FIGHATECNICA

Nombre de la obra	
PUENTE INFANTE D. HENRIQUE (OPORTO)	
Propiedad	
METRO DE AREA METROPOLITANA DO PORTO, S.A.	
Proyecto y Apoyo Técnico a Obra	
JOSÉ ANTONIO FDEZ. ORDÓÑEZ, FRANCISCO MILLANES MATO, ANTONIO ADÃO DA FONSECA, LUIS MATUTE RUBIO, RENATO BASTOS, IDEAM S.A. & AFA CONSULTORES ENGENHARIA LDA.	
Empresas constructoras	
NECSO & EDIFER U.T.E	
Director de la Obra	
VÍCTOR SILVA, Ingeniero Civil (METRO DE PORTO)	
Jefe de Obra	
IGNACIO POVINA MARTÍN, ingeniero de Caminos (NECSO)	
Principales subcontratistas	
ARMOL-FREYSSINET, Preensado, Estudios y Construcción TECNOSOL FGE, Cimentaciones y Geotecnia, S.A. KINESIA, Ingeniería de Auscultación, S.A. FEUP, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto	
Presupuesto adjudicación	
14.171.250 euros	
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	
Longitud total	403,00 m
Anchura de plataforma	20,00 m
Superficie total	8060,00 m ²
Luz principal	280 m
Rebajamiento	11,2
Esbeltez tablero	1/62,2
Esbeltez arco	1/186,7

siglo XIX se siguieran viendo el uno al otro, evitando cualquier interposición entre ellos, en reconocimiento y homenaje a ambos. El concurso de proyecto y obra, convocado en junio de 1997, sólo daba algo menos de tres meses, en pleno verano, para responder al desafío... Un reto para acometer una actuación única, quizás irrepetible, sobre el río Duero, un río ibérico, portugués y español. Tras demasiado tiempo de olvidos y desencuentros, un equipo portugués y español se configuró para el concurso de este puente, en los inicios del siglo XXI. Un equipo de constructores y proyectistas de aquí y de allí. Un equipo de entusiastas que, en el primer encuentro, colocó sus ideas sobre la mesa y, en un segundo, concluyó que, compartiendo el mismo respeto por el río Duero, la ciudad de Oporto y el legado de sus puentes, compartiendo también la confianza en la capacidad técnica de una apuesta peninsular, ibérica, así como en la visión común de la ingeniería de puentes como un oficio de rigor y expresión culta de una capacitación profesional, merecía la pena intentar una apuesta ganadora. José Antonio Fernández Ordóñez, como cabeza de un equipo integrado por las ingenierías IDEAM y AFA, bajo la dirección de los firmantes de este artículo, logró el apoyo de las constructoras Necso y Edifer para un empeño que, inicialmente, necesitó de altas dosis de voluntad, determinación y confianza en la calidad y rigor de la propuesta y de todo el equipo.

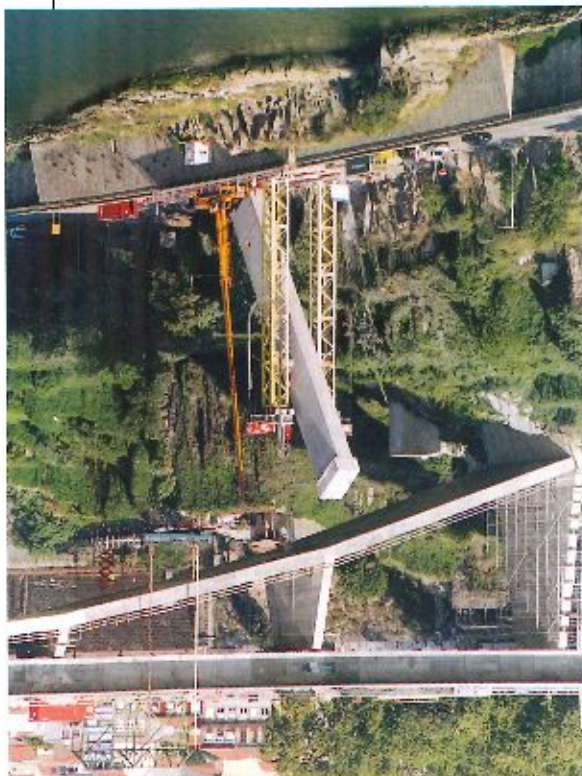
EL PUENTE

Un puente en Oporto, saltando a cota alta sobre el río Duero desde las abruptas laderas graníticas de ambas márgenes, sólo puede ser un puente arco. Un puente arco resulta ser un puente arco. Un puente arco de hormigón de alta resistencia fuertemente rebajado, tipo Maillart, con un arco laminar muy esbelto de



Vista general de puente.

El Puente Infante D. Henrique responde a una concepción estructural fuerte y rotunda, de la que se derivan sus principales virtudes de simplicidad formal, pureza estructural y regularidad geométrica. Un puente con un carácter geométrico muy peculiar, formado por grandes planos, tanto en el gran dintel prismático del tablero como en las piezas trapeziales de los montantes y en el contorno poligonal del arco. La estructura es un conjunto de recas y planos, sin ningún elemento curvo, lo que corresponde estrictamente al perfil del antitumular de esfuerzos y facilita el proceso constructivo.



arco, así como de las fle-
xiones derivadas tanto
de la acción de sobre-
cargas móviles no uni-
formes como de los
efectos de la pérdida de
forma por asientos dife-
renciales, horizontales o
verticales, en arranques,
o por efectos térmicos
o reológicos. En nuestro
caso el proceso progre-
sivo de pérdida de fle-
cha, y las consiguientes
flexiones de segundo
orden que se generarían,
queda controlado por la
compatibilidad de defor-
maciones con el tablero
rígido, sobre el que tien-
de a descansar el arco
flexible, garantizando así
una variación de los axi-
les y flectores en el arco
muy moderada, a pesar de su reducido can-
to y enorme rebajamiento.

La contribución del tablero en la resisten-
cia frente a cargas verticales debidas a accio-
nes permanentes y sobrecargas uniformes
simétricas es sólo del entorno del 15%, por-
centaje que aumenta muy sensiblemente,
liberando al arco en el caso de sobrecargas
no simétricas, cuyo antifunicular no sería
asumible por el estricto arco laminar pro-
yectado.

Así pues, el diseño conceptual planteado,
muy ortodoxo a pesar de su novedad, per-
mite un máximo aprovechamiento del
esquema resistente arco-dintel. En los 70 m
centrales, donde ambos confluyen en una
sección única, el arco acomete muy excén-

**ES EL SÉPTIMO
PUENTE DEL
MUNDO Y SEGUNDO
DE EUROPA POR SU
LUZ, PROYECTADO
EN ESTRUCTURA
HÍBRIDA
DINTEL-ARCO
LAMINAR,
PRESENTA LA
MAYOR ESBELTEZ
DE ARCO Y EL
MAYOR
REBAJAMIENTO
DE TODOS LOS
PUENTES ARCO DE
GRAN LONGITUD
HASTA AHORA
CONSTRUIDOS EN
EL MUNDO**

Arriba, doble carro
de avance
(tablero y arco)
en voladizo.
Debajo, elimina-
ción del pilar
provisional tras el
cierre en clave.



LA RESPUESTA ESTRUCTURAL

La respuesta estructural del puente surge de la
interacción estructural de sus elementos
fundamentales: el dintel rígido de hormigón
postesado, de 4,50 m de canto, apoyando
cada 35 m, a través de unos tabiques vertica-
les, muy esbeltos, en el flexible arco laminar
poligonal inferior de 1,50 m de canto. En los
70 m centrales, ambos elementos confluyen
en una sección cajón de 6 m de canto, cuyos
paramentos laterales reflejan a través de un
quiebro o recorte una cierta continuidad
formal con los volúmenes correspondientes
al tablero y el arco.

La respuesta estructural se establece a tra-
vés de la interrelación entre dos esquemas
resistentes con rigideces tan diferentes
como son el dintel a flexión y el arco lami-
nar. Nuestro Puente se desvía de la concep-
ción clásica de los arcos de tablero superior,
en los que el trabajo fundamental a compre-
sión del arco libera prácticamente al tablero
de flexiones, o las reduce a la distancia entre
montantes verticales de apoyo. En nuestro
caso, el fuerte rebajamiento del arco necesi-
ta, principalmente bajo cargas no uniforme-
mente repartidas, de la ayuda de un tablero
rígido a flexión, con un funcionamiento glo-
bal de la estructura que se aproxima más al
de un tablero continuo convencional, aunque
descansando cada 35 m en apoyos elásticos,
muy rígidos bajo esquemas de antifuniculari-
dad de cargas, pero bastante flexibles para
otras configuraciones de carga.

Este complejo esquema resistente permi-
te, en cambio, aplicar la tipología arco a un
ámbito que, en principio, queda fuera de los
rangos habituales de rebajamiento (luz/flecha
en clave), entre 5 y 9 para arcos de hormi-
gón. Por encima de dichos valores, los arcos
convencionales experimentan unos incre-
mentos muy importantes de los empujes en
arranques y, por tanto, de los axiles en el

El proceso constructivo desarrollado, si bien requiere un control muy estricto de la geometría, rigidez y esfuerzos a lo largo del proceso de avance, con cálculos y monitorización de seguimiento continuo durante el mismo, resulta el más adecuado desde el punto de vista estructural, ya que permite una puesta en carga progresiva y muy gradual, no sólo de los esfuerzos transmitidos a los elementos fundamentales de la estructura final: el arco comprimido y el dintel pretensado, cuyas solicitaciones, al cerrarse en clave, diferían sólo moderadamente de las que se tendrían en la situación final, una vez desmontadas las pilas provisionales y eliminadas las tensiones mínimizándose así tanto las transferencias bruscas de puestas en carga, habituales en los arcos, como la magnitud de las redistribuciones diferentes. ▼