

Arquitectura
y Construcción

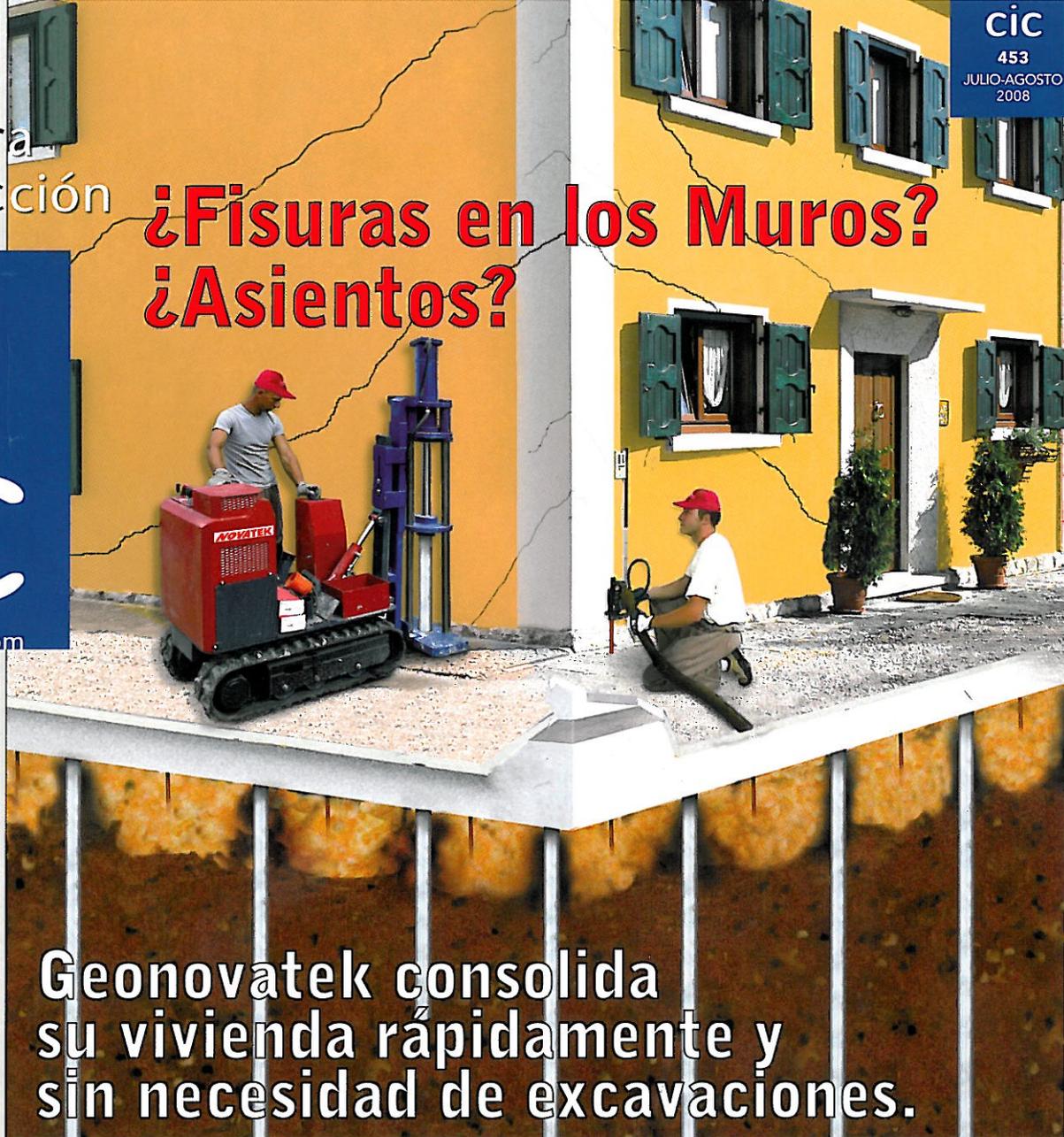
¿Fisuras en los Muros? ¿Asientos?

cic

www.cicinformacion.com

Amplíe información de los productos
y empresas que aparecen en la revista
rellenando el cupón respuesta
de la página 175

902 202 200
servicio de información telefónica



Geonovatek consolida su vivienda rápidamente y sin necesidad de excavaciones.

Geonovatek, resuelve de forma definitiva el asiento de la estructura (edificio, vivienda, nave industrial) mediante un método poco invasivo que une la potencia consolidante de la Resina Expansiva HDR200®

con la elevada capacidad portante de los Minipilotes MP/50 hincados a presión (sin golpeo). La capacidad efectiva de cada minipilote MP/50 se controla individualmente.



Geonovatek, S.L.C/Polvorín n.5, Nave B, Paracuellos de Jarama 28860 (Madrid)
www.geonovatek.es info@geonovatek.es

Patente Europea
N°854.064



Para solicitar una inspección y
un presupuesto **gratuito**,
llame al teléfono:

coste de la llamada compartido
901 02 00 88

Temas del mes:

Las preguntas más frecuentes sobre acústica en la edificación
Primer descenso del consumo de áridos en los últimos 15 años
La tecnología, crucial aliada de la cerámica

Proyectos singulares:

Puente celosía sobre el Embalse de Buendía
Jörg Schlaich, una vida dedicada
a la arquitectura y la construcción

Dosieres:

Cubiertas, fachadas, cimentaciones,
estructuras y encofrados
Impermeabilización y aislamiento
Naves industriales, construcciones
modulares y prefabricados

ARCOS

Proyecto europeo Adasy



Fusión de ingeniería civil e integración medioambiental

Como nexo de unión entre los términos municipales de Alcocer (Guadalajara) y Alcohujate (Cuenca), el puente celosía sobre el Embalse de Buendía destaca, además, por su expresividad como obra civil y por su respeto medioambiental. Esta cuidada construcción se ha convertido en el único puente de España en el que una celosía metálica se curva en planta y en alza, generando así una estructura elegante y transparente, totalmente integrada en el entorno.

Incluido dentro del proyecto global de la "Nueva carretera de conexión entre ambos márgenes del Embalse de Buendía, en los términos municipales de Alcocer (Guadalajara) y Alcohujate (Cuenca)", el puente celosía sobre el Embalse de Buendía comprende una obra de infraestructura de nueva implantación que ha sido diseñada por el ingeniero de Caminos Ramón Sánchez de León y el arquitecto Francisco Sánchez de León, pertenecientes al Estudio AIA Arquitectos e Ingenieros Asociados, para resolver el problema de comunicación existente entre las provincias de Cuenca y Guadalajara tras la construcción del embalse, ya que se había convertido en un "freno urbanístico y de desarrollo para toda la comarca de Buendía, en una zona de alto valor ecológico y paisajístico", según la memoria del proyecto.

Por este motivo, el puente sobre el Embalse de Buendía supone una estructura de obra civil en la que destacan el pilar y la celosía en curva, que convierten a esta construcción en un puente muy expresivo que se caracteriza, además, por su integración en el paisaje natural, combinando a la perfección técnica y naturaleza en un mismo elemento.

Además, este proyecto, presentado a la edición 2007 del "Premio Acueducto de Segovia. Obra Civil y Medio Ambiente", es el único puente en España en el que "una celosía metálica se curva en planta y en alzado, generando una estructura que, basada en la pasada cultura metálica del siglo XIX, la reinterpreta en el siglo XXI", según los autores de la obra.

Condicionantes de partida

El Estudio AIA, responsable del diseño del puente sobre el Embalse de Buendía, apunta una serie de condi-

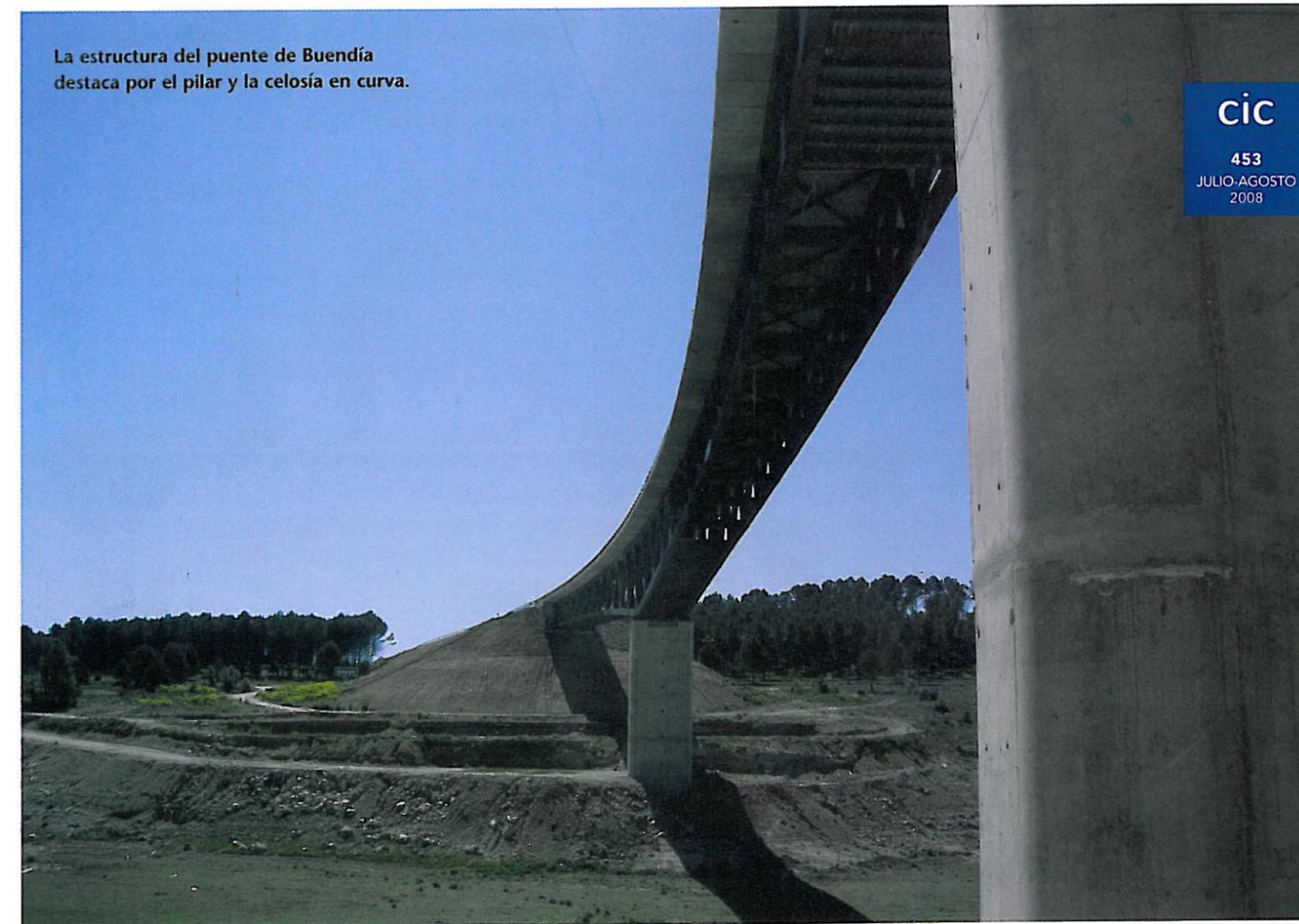
cionantes fundamentales de los que partieron a la hora de concebir la estructura a proyectar, así como su integración medioambiental.

Uno de estos factores fue la cota de fluctuación del embalse, dato que es preciso conocer ya que influye de manera decisiva en el diseño de la estructura y en el proceso constructivo de la misma, dos fases estrechamente ligadas en este proyecto. En concreto, la luz de la estructura ha venido condicionada por no colocar las pilas en zona de nivel normal del embalse.

Otro de los objetivos a tener en cuenta fue la ausencia de penínsulas artificiales dentro del vaso del embalse, lo que ha permitido minimizar la afección medioambiental y evitar futuros problemas que se pudieran generar por arrastre de sedimentos en los desagües de fondo del embalse.

En cuanto a las características geotécnicas del terreno, las pilas centrales que se localizan en una zona de in-

La estructura del puente de Buendía destaca por el pilar y la celosía en curva.



fluencia de la dinámica del embalse y la presencia de los primeros metros de depósitos aluviales contemporáneos de baja consolidación condicionaron la tipología de cimentación a un pilotaje a través de pilotes columna, empotrados en el estrato de areniscas con intercalaciones margo calizas, convirtiéndose así en estructuras ligeras para no cargar en exceso la cimentación.

Sin embargo, el objetivo primordial antes de diseñar el proyecto se basó en la premisa de "buscar una solución integrada en el entorno, encajada en el valle y que compatibilice los grandes cantos de estas estructuras con soluciones transparentes que no supongan barreras visuales y que se integren en una zona tan virgen como ésta", según la memoria del proyecto. Para la integración paisajística de la obra se suman también las celosías, estructuras transparentes y diáfanos que, al curvarse en planta y alzado, adquieren formas adaptadas a la propia naturaleza, así como el acero corten, material utilizado que adquiere un color óxido natural que se integra a la perfección en el paisaje.

Estructura del puente

El diseño del puente contempla una solución de doble acción mixta, realizada con dos celosías metálicas de trazado parabólico, separadas seis metros y con cordón superior siguiendo la rasante de la calzada y cordón inferior de trazado parabólico para adaptarse a los esfuerzos de flexión. Además, incorpora una losa superior de hormigón HA-35, que constituye el tablero de 11 m de anchura, y una losa inferior de hormigón en la zona de apoyos de pilas (flexión negativa). Por su parte, el canto entre ejes de cordones varía desde 4,5 m en centro de vano y estribos hasta 10 m sobre pilas. En cuanto a su longitud total, el puente de Buendía mide 319,5 m en tres vanos de 63 m, 162 m y 94,5 m, además de dividirse en 35 cuadernas o módulos de 9 m de longitud cada uno.

Los responsables del proyecto señalan que las ventajas de esta solución son las siguientes:

- Se reduce considerablemente el peso propio del tablero frente a la solución de hormigón, permitiendo



El puente de Buendía resuelve el problema de comunicación entre Alcocer (Guadalajara) y Alcohujate (Cuenca).



La cuota de fluctuación del embalse fue uno de los condicionantes a la hora de concebir la estructura a proyectar.

una ejecución más rápida de las cimentaciones en época estival y sin afectar a la dinámica del embalse.

- Permite alcanzar grandes luces, lo que garantiza la ejecución del puente sin necesidad de construir penínsulas artificiales en el vaso del embalse y reduce las labores para ejecutar los caminos de acceso.
- Minimización del impacto visual que producen los grandes cantos de alma llena de otras soluciones, al proyectarse una celosía transparente.
- Se reduce sensiblemente el tiempo de ejecución de la estructura, ya que pueden solaparse la construcción de cimentaciones, pilas y estribos con la construcción de las celosías metálicas en taller, en tajos totalmente independientes.
- Las celosías se construyen completamente en taller, realizándose así un montaje en blanco para, posteriormente, transportarlas a obra, pudiendo realizar las soldaduras y detalles más comprometidos (nudo) en taller, con la garantía que supone la prefabricación en taller.
- Se reducen al mínimo las operaciones de mantenimiento y conservación al proyectar las celosías metálicas con acero de resistencia mejorada a la corrosión (acero corten), ya que así no resulta necesario pintar la estructura metálica.

Elementos estructurales

Tal y como señala la memoria del proyecto, la estructura del puente sobre el Embalse de Buendía se compone de los siguientes elementos:

Celosías. La parte más característica del puente de Buendía la componen dos celosías metálicas S355J2G2W de acero autorresistente a la corrosión (acero corten), de directriz parabólica con canto variable de 4,38/4,62 m en centro de vano y extremos, y de 9,88/10,12 m en apoyos sobre pilas. Por su parte, la diferencia de canto de las celosías se ha realizado para absorber el peralte del 4,1% del trazado.

En cuanto a la composición de las celosías, cada una de ellas se compone de un cordón inferior longitudinal de directriz parabólica en el plano vertical y con curvatura constante de 800 m de radio en la dirección longitudinal del tablero. El cordón inferior se materializa por un cajón armado con dos almas de 750 mm interior y alas de 550 mm interior, mientras que el cordón superior recto en el plano vertical y con curvatura constante de 800 m de radio en la dirección longitudinal del tablero está constituido por un cajón armado con dos almas de 750 mm de canto interior y alas de 550 mm interior. Además, las diagonales conforman una celosía tipo

Warren, conectadas cada 9 m a las cartelas dispuestas en el cordón superior e inferior.

Asimismo, los nudos de la celosía son un elemento importante en el diseño de ésta, ya que se trata de elementos que se construyen independientes de los cordones y diagonales y que, posteriormente, se conectan entre sí. En concreto, los nudos están formados por dos cartelas laterales con bordes redondeados para recoger las almas de los cordones y las diagonales, evitando así puntos de concentración de tensiones, y por chapas longitudinales que aportan continuidad a las alas de los cordones. Además, es en estos nudos donde se disponen interiormente unos rigidizadores transversales en los que se acomete el arriostramiento transversal de las celosías y se materializa el empotramiento necesario para garantizar el trabajo como viga vierendel en el plano de arriostramiento.

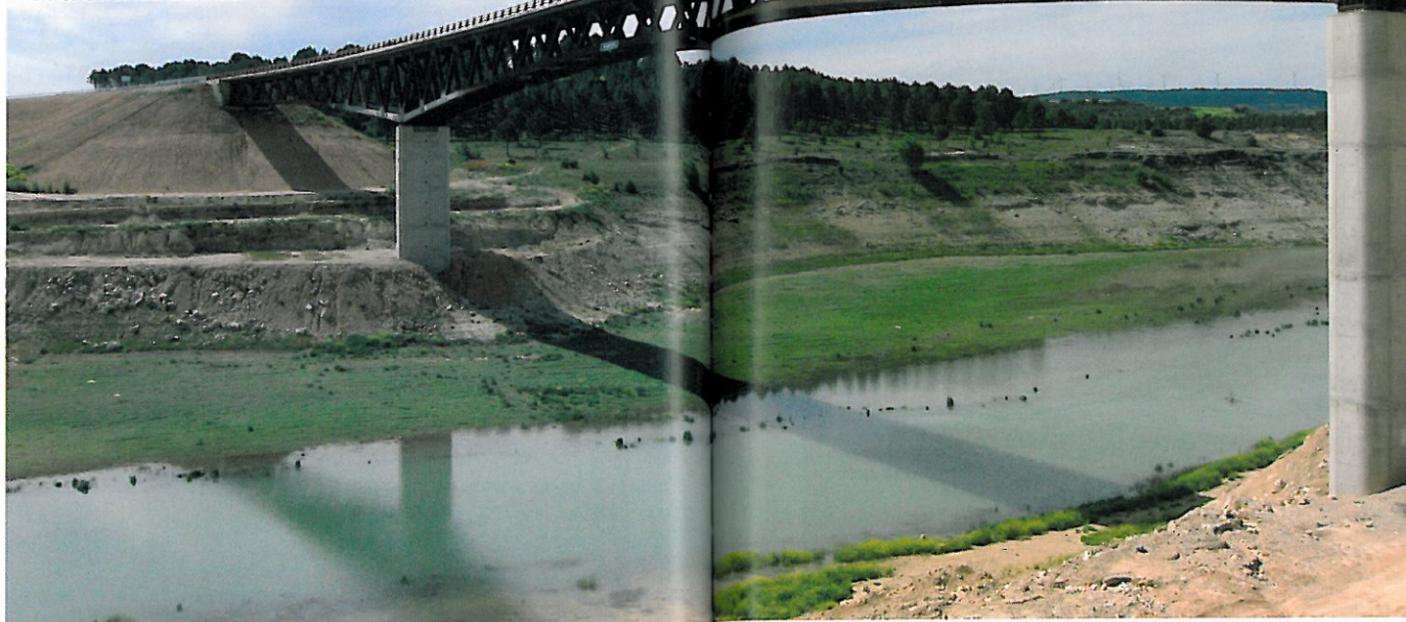
Por otro lado, las celosías metálicas están conectadas por los arriostramientos metálicos citados, así como por la losa superior de hormigón que materializa el tablero de rodadura, la losa inferior de hormigón en los tramos de doble acción mixta y mamparos transversales metálicos en K dispuestos en los apoyos sobre pilas y estribos.

Losa superior. La losa superior del tablero de hormigón armado H1-35 posee una anchura total de 11 m y se encuentra apoyada sobre los cordones superiores longitudinales de la celosía, con un tramo central entre celosías de 6,5 m (0,5 m+5,5 m+0,5 m) de 30 cm de canto y dos voladizos laterales de 2,25 m, con canto variable de 20 cm en el extremo a 30 cm en el apoyo sobre el cordón superior.

Teniendo en cuenta los criterios de agotamiento de la losa superior y un control de fisuración en la zona de apoyos sobre pilas para garantizar la durabilidad de la estructura, la losa está siempre armada, aunque se ha limitado a 200 N/mm² la tensión en las armaduras después de la fisuración. Por otro lado, la losa superior está conectada a los cordones superiores de la celosía mediante pernos tipo "stud", de 19 mm de diámetro y de 450 N/mm² de resistencia a rotura, dispuestos en dos filas por cordón y separados longitudinalmente entre 20 cm y 35 cm, según su posición en el puente.

Losa inferior. La losa inferior del tablero se ha materializado con hormigón armado HA-45 y se dispone en los tramos de flexión negativa, donde los cordones inferiores de la celosía están comprimidos, colaborando muy eficazmente el acero y el hormigón. En cuanto a su posición, la

El objetivo primordial del Estudio AIA era lograr una solución integrada en el entorno natural.



losa de hormigón se dispone entre los dos cordones longitudinales inferiores, que sirven como encofrado lateral.

Condiciones de apoyo. En el estribo E1 se disponen apoyos tipo POT, uno guiado en el sentido longitudinal PU-300 (coartado su movimiento transversal en el plano) y otro libre PL-300 (los dos movimientos de su plano libres) para evitar hiperestáticos transversales entre los dos apoyos. En la pila P1 se disponen apoyos tipo POT, uno guiado en el sentido longitudinal PU-2000 y otro libre PL-2000 también, como en el caso del estribo E1, para evitar hiperestáticos transversales entre los dos apoyos. Por su parte, en la pila P2 se disponen apoyos tipo POT, uno fijo tanto en sentido transversal como longitudinal PF-2000, y otro libre PL-2000, aunque sólo uno de los apoyos dispuestos en esta pila recoge las cargas longitudinales y, por tanto, a la pila se transmiten además de flexiones longitudinales y transversales, un torsor importante.

En el estribo E2 se disponen apoyos tipo POT, uno guiado en el sentido longitudinal PU-300 (coartado su movimiento transversal en el plano) y otro libre PL-300 (los dos movimientos de su plano libres), además de los neoprenos laterales dispuestos a la altura de la losa superior para recoger las cargas transversales transmitidas como viga pared.

Pilas. Las pilas proyectadas en el puente de Buendía son de hormigón armado HA-35, rectangulares y de dimen-

siones exteriores de 8x2,5 m e interiores de 6,5x1,7 m, además de ser huecas con espesores de pared de 0,4 m. En sus últimos dos metros, las pilas están macizadas para



La longitud total del puente de Buendía es de 319,5 metros.

repartir así la carga de los apoyos, y los bordes exteriores, por su parte, están redondeados con un radio de 0,5 m, con el fin de minimizar los empujes de viento.

En cuanto a su altura, las pilas miden en torno a 25 m de alto y su dimensionamiento viene condicionado, según la memoria, por las fases de empuje durante la construcción. Además, es preciso señalar que ambas pilas están empotradas en un encepado rígido de 9x12,5 m de dimensiones en planta y de 2,5 m de canto, de hormigón armado HA-25. Por su parte, el encepado se encuentra sustentado sobre 12 pilotes de 100 cm de diámetro, ejecutados con camisa de chapa recuperable y con una profundidad de 14 m.

Estribo E1. El estribo E1 comprende un elemento singular en relación con la concepción global de la estructura, puesto que la fuerte descompensación de vanos lateral/central existente produce para cargas permanentes una reacción negativa, que obligó a los responsables del proyecto a anclar en el estribo el puente.

Estribo E2. En el caso del estribo E2, por la relación de vanos lateral/central no se producen reacciones ne-



Los nudos han sido elementos importantes a la hora de diseñar la propia celosía.

gativas en el estribo, de manera que éste no plantea la problemática del estribo E1 y se proyecta “como un dintel cimentado sobre cuatro pilares de 100 cm”, según la memoria del proyecto. Además, al igual que ocurre con el estribo E1, se disponen neoprenos laterales a la altura de la losa superior para recoger las cargas transversales transmitidas por ésta.

Proceso constructivo

A la hora de elegir el método de construcción, los responsables del

FASE 1

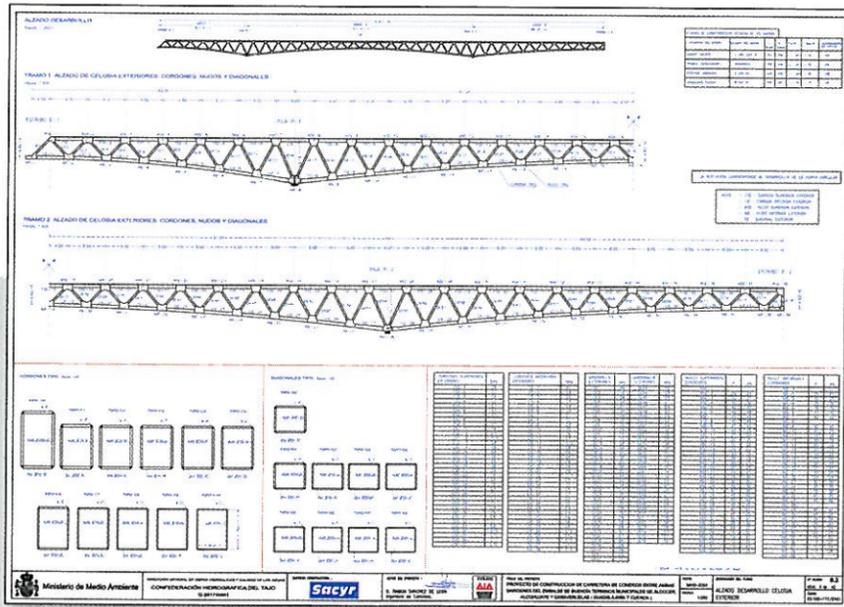
Montaje mediante izado con potentes grúas de las dos semimitades metálicas del puente

- Semimitad 1: vano 1 + 1/2 vano 2.
- Semimitad 2: 1/2 vano 2 + vano 3.

Evidentemente en pilas se produce una importante flexión negativa de los voladizos y una torsión concomitante con ella, que hace que se cargue más el apoyo interior. Los esfuerzos son soportados únicamente por la estructura metálica.

FASE 2

Conexión en el centro del vano 2 de las dos semimitades monta-



das en la fase 1 y hormigonado de la losa de fondo en la zona de flexión negativa, mediante carro de avance.

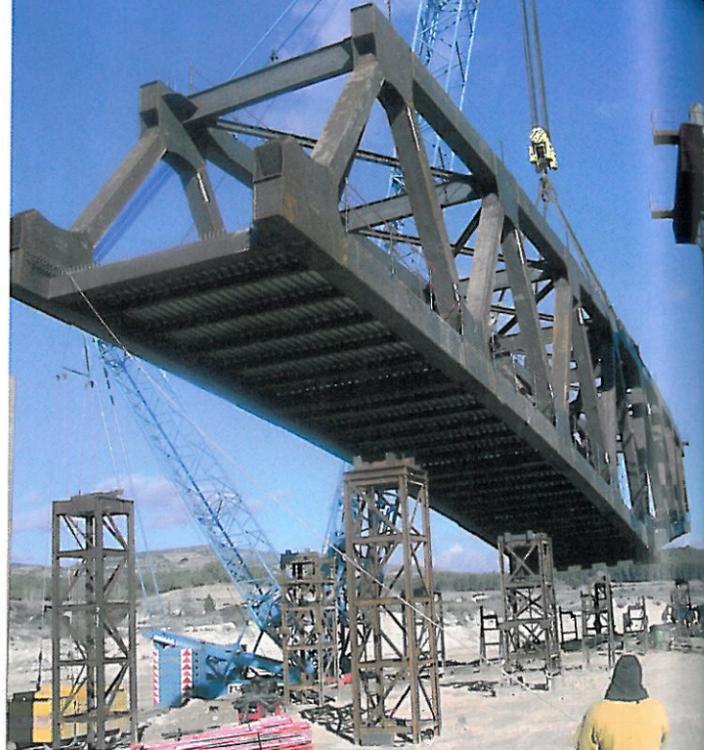
FASE 3

Hormigonado de la losa superior en toda su anchura mediante carro de avance.

FASE 4

Colocación de carga muerta, bandillas y pavimento de aglomerado sobre el tablero.

(Fases de montaje denominadas por este nombre durante todo el proceso de cálculo, en el que pueden encontrarse también los esfuerzos producidos).



El puente se construyó mediante la técnica de avance en voladizo con dovelas metálicas colocadas mediante una grúa.

proyecto tuvieron presente que éste fuera compatible con la ausencia de penínsulas artificiales, así como que considerase las fluctuaciones estacionales de la cota del Embalse de Buendía. De esta manera, el puente se cons-



Las celosías están conectadas por arriostramientos metálicos y por la losa superior de hormigón.



truyó mediante la técnica de avance en voladizo con dovelas metálicas colocadas directamente mediante una grúa, la cual se situó en ambos márgenes del embalse. Por su parte, los tramos laterales se dispusieron en una sola pieza, mientras que el tramo central, de 162 m de luz, se dividió en cinco dovelas avanzando en voladizo hasta disponer la dovela central en la clave del puente. Durante la realización del voladizo en curva de la sección metálica, se produjeron “unos importantes giros de torsión que obligaron a unos cálculos muy estrictos de las contraflechas a realizar en taller, tanto en

deformada vertical como en giro torsional”, según la memoria.

Tras la finalización de toda la estructura metálica, se procedió al hormigonado de la losa de fondo, la colocación de las prelasas del tablero y el hormigonado de la losa superior para, posteriormente, colocar las bandillas y demás remates del tablero.

Texto de **Beatriz Suárez**

Imágenes de **Estudio AIA Arquitectos e Ingenieros Asociados**

