

Pasarelas Cáscara del Matadero y del Invernadero sobre el río Manzanares en Madrid

Matadero and Invernadero Shell pedestrian bridges built over
the Manzanares River in Madrid

Hugo Corres Peiretti. Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FHECOR Ingenieros Consultores. Madrid (España). (hcp@fhedor.es)

José Romo Martín. Prof. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FHECOR Ingenieros Consultores. Madrid (España). (jrm@fhedor.es)

Julio Sánchez Delgado. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FHECOR Ingenieros Consultores. Madrid (España). (jsd@fhedor.es)

Cristina Sanz Manzanedo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FHECOR Ingenieros Consultores. Madrid (España). (csm@fhedor.es)

Resumen: Dentro del proyecto de acondicionamiento y creación de espacios públicos en las márgenes del río Manzanares en Madrid promovido por el Ayuntamiento de Madrid se proyectaron varios puentes y pasarelas peatonales dentro de las que se incluyen las dos Pasarelas Cáscara del Matadero y del Invernadero objeto del presente artículo. La solución estructural planteada para las pasarelas consiste en un arco - bóveda de hormigón armado con un tablero inferior mixto sustentado mediante péndolas metálicas. La bóveda, dada la singularidad de su forma, se hormigonó in situ mediante hormigón autocompactante, siendo tanto el encofrado como el ferrallado un trabajo totalmente artesanal de complicada ejecución.

Palabras Clave: Pasarela; Bóveda; Cables, Tablero mixto, Hormigón autocompactante

Abstract: Within the general Project of conditioning and landscaping on the Banks of the River Manzanares called by the Madrid Town Hall, several bridges and footbridges were projected including the two Matadero and Invernadero Shell Pedestrian Footbridges which are the subject of this article. The suggested structural solution consists of a reinforced concrete arched/vaulted shell with a lower composite deck which is suspended from the Shell via fine cables. The shell, given its uniqueness, was cast in situ using self-compacting concrete and the formwork, as well as the reinforcement arrangement were totally artisanal due to their complexity.

Keywords: Footbridge; Vault; Cables; Composite deck; Self-compacting concrete

1. Antecedentes

Los puentes de Matadero y del Invernadero son parte del proyecto de acondicionamiento y creación de espacios públicos en las márgenes del río Manzanares en Madrid. Éste, a su vez, forma parte de un proceso que se inicia con el proyecto de soterramiento del arco oeste de la M30, que el Ayuntamiento de Madrid pone en marcha a principio del año 2003. Este tercer anillo de la ciudad de Madrid, que se empezó a construir a finales de los años 60, se había transformado, con el desarrollo de la ciudad, en una verdadera herida que rompía y dividía

la ciudad. Ha sido una obra de ingeniería extraordinaria y de gran calado urbanístico.

En el año 2005 el Ayuntamiento de Madrid convoca un Concurso Internacional de Ideas que tiene como fin obtener propuestas para la ordenación y urbanización del gran vacío urbano que surge como consecuencia del soterramiento de la M-30. Se trata de crear un gran parque de 6 Km. de largo y 1.200.000 m² de superficie, flanqueando los márgenes del río Manzanares a su paso por la ciudad de Madrid.

La propuesta ganadora de dicho concurso fue la del equipo Mrio arquitectos formado por los estudios

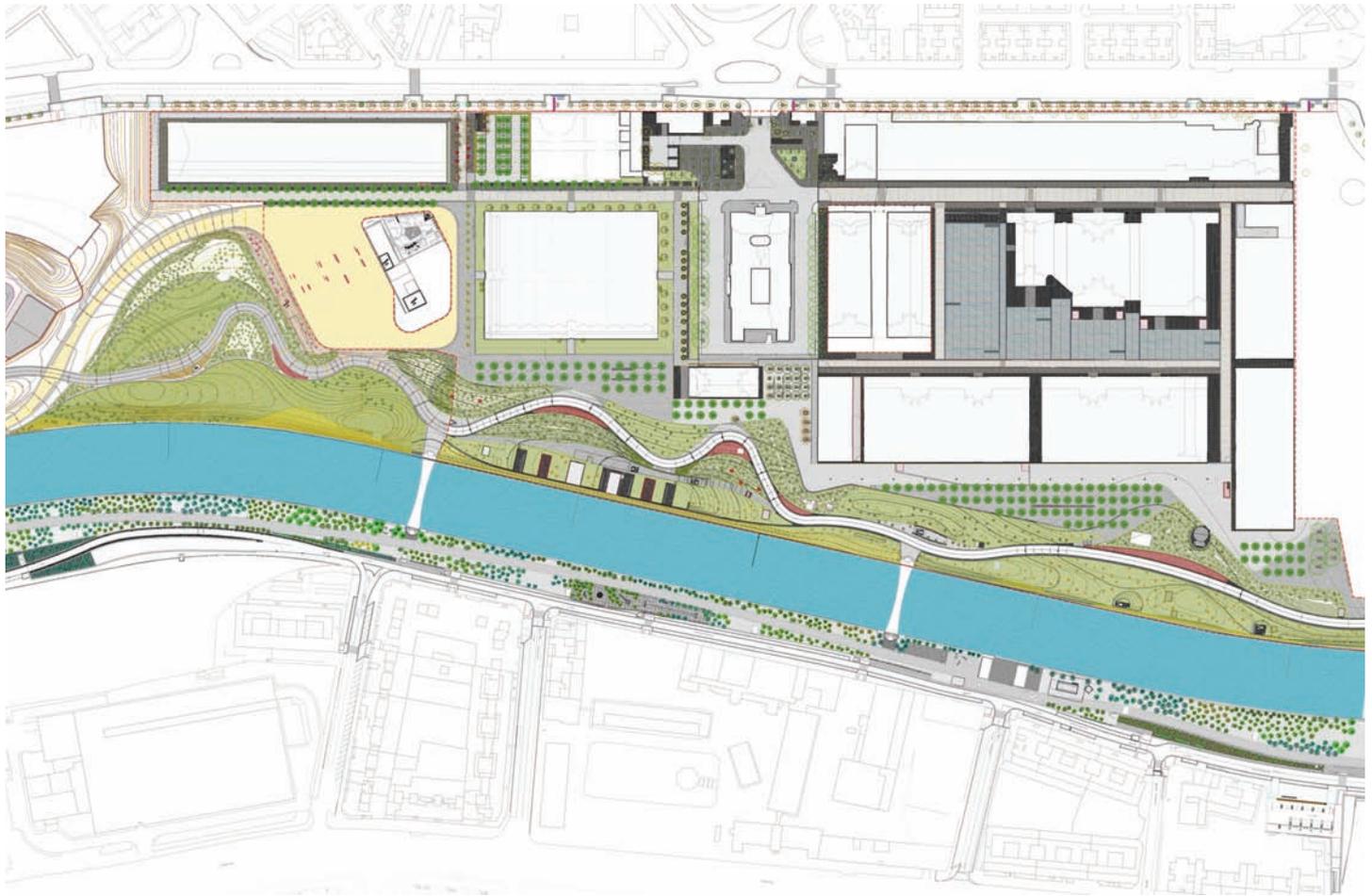


Fig. 1. Emplazamiento urbanístico de las pasarelas del Matadero y del Invernadero.

de Madrid Burgos y Garrido, Porras y La Casta, Rubio y Álvarez-Sala, con la colaboración del estudio de paisajismo holandés West8 (1)(2).

El principio fundamental que sustenta la concepción del proyecto es el de establecer una puerta entre Madrid y los valiosos territorios exteriores que la circundan. Actualmente el sistema de infraestructuras y anillos que encierran la ciudad, hacen imposible la conexión continua entre el paisaje urbano y el medio natural. Con el desarrollo de la propuesta, el río Manzanares se convierte en el punto de conexión entre ambos entornos, mediante la construcción de un corredor arbolado en su ribera y la implantación de diversos puentes y pasarelas que enlazan transversalmente los barrios y superan las principales infraestructuras de tráfico, que hasta hoy taponan el contacto entre el tejido construido y las áreas libres del territorio.

La propuesta se concreta en tres unidades de paisaje. En primer lugar, el corredor que discurre por

la margen derecha del río. En segundo lugar, el nuevo escenario monumental que enlaza de manera definitiva el centro histórico con el mayor parque de Madrid (la Casa de Campo). En tercer lugar, se ha proyectado el conjunto del Nuevo Parque de la Arganzuela que incluye el centro de creación contemporánea del Matadero.

Los puentes gemelos de Matadero y del Invernadero son dos elementos fundamentales del sistema de nuevos puentes y pasarelas llamados a superar las barreras infranqueables que antes del soterramiento de la M30 impedían la comunicación entre barrios vecinos.

Ambos puentes se erigen además, por su tamaño y configuración plástica, en auténticas puertas que se abren al Parque de Arganzuela y al nuevo centro de creación contemporánea de Matadero. No sólo resuelven el tránsito transversal entre las dos orillas sino que configuran un espacio abovedado que flota sobre el río y constituye dos sendas cubier-

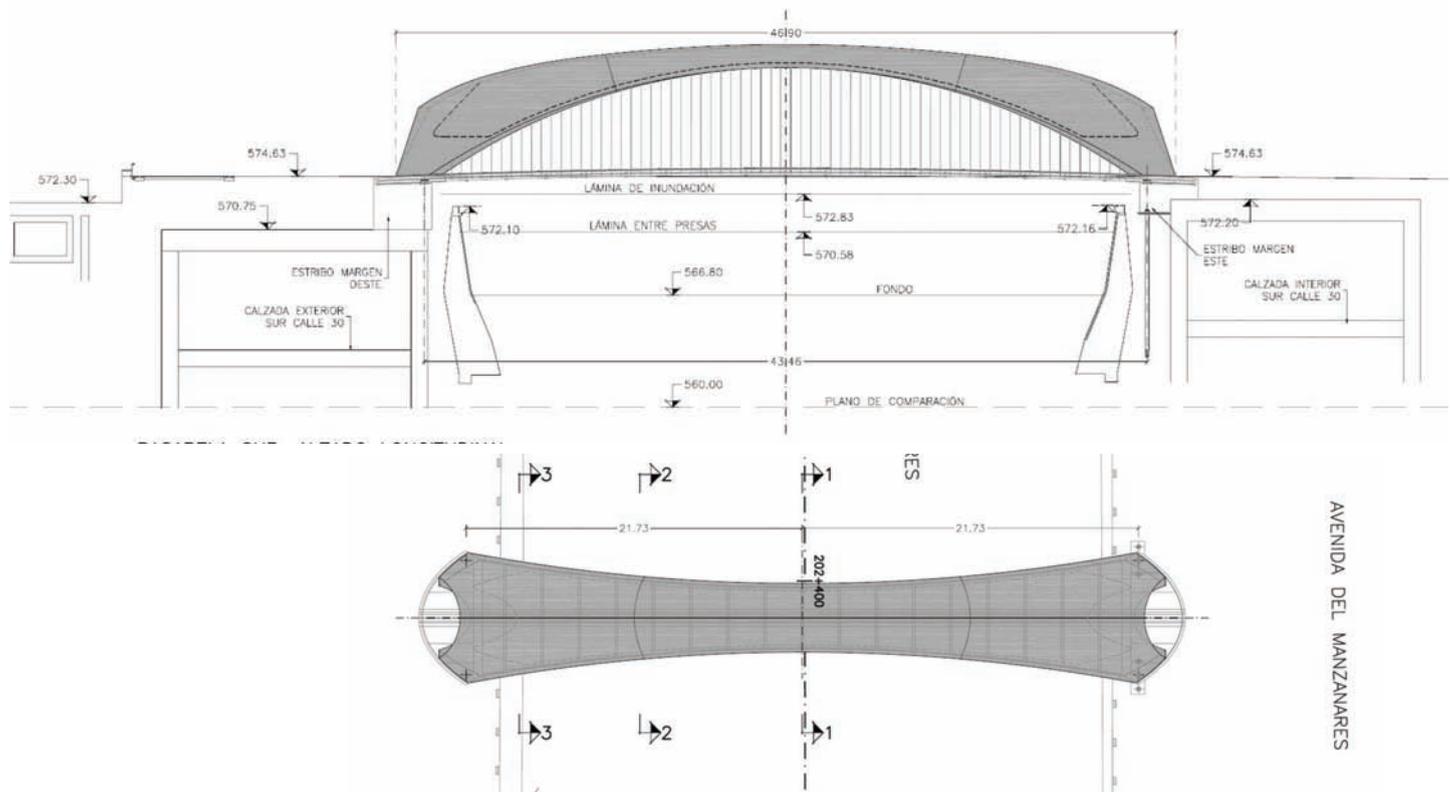


Fig. 2. Planta y alzado de la solución adoptada.

tas concebidas como pabellones que se incorporan al gran parque.

Exteriormente destacan las bóvedas de hormigón de las que cuelga, a través de una fina cortina de cables, un tablero mixto.

El espacio interior está dominado, en ambos puentes, por un gran mosaico obra del artista Daniel Canogar. Dicho mosaico ahonda en la idea de remarcar el paso a través del puente como una experiencia singular para el peatón. La obra consiste en dos imágenes fotográficas, una diferente para cada puente, que se incorpora como la piel del techo abovedado. En las figuras bajo la bóveda de los puentes de Matadero y del Invernadero aparecen personajes contemporáneos: niños, jóvenes y mayores. Éstos son, además, ciudadanos reales, vecinos de los barrios, Arganzuela y Usera, de las dos orillas que unen los puentes, de tal manera que éstos albergan, unen y reconcilian finalmente a aquellos habitantes de la ciudad que durante tanto tiempo vivieron separados por la barrera que suponía la antigua autopista M30.

El mosaico está realizado con teselas de 7x7 mm y 4mm de espesor que configuran a su vez las placas pegadas en malla de 30x30 cm que se van co-

locando en la bóveda de hormigón. En total el número de teselas utilizadas en los mosaicos asciende a 6.615.00.

La obra es singular en muchos aspectos pero también lo es porque ha requerido la íntima y fructífera colaboración de mucha gente - arquitectos, ingenieros, artistas y constructores - que en épocas pasadas, no hace tampoco mucho tiempo, estaban concentradas en un solo individuo.

2. Solución adoptada

La solución plateada es una lámina de hormigón, de la que se suspende la pasarela propiamente dicha. El vínculo entre la lámina y el tablero está constituido por un conjunto de finos cables, muy próximos, de los que se suspende el tablero.

La cáscara debe cumplir la misión de soporte de la obra de arte que se exhibiría en el interior de la pasarela. La lámina tiene, por tanto, varias funciones. Por un lado deberá cumplir el cometido de soporte de la obra de arte. Además, su geometría debía tener apariencia de puerta para entrada a un recinto. También sus condiciones de forma debían

Fig. 3. Secciones transversales.

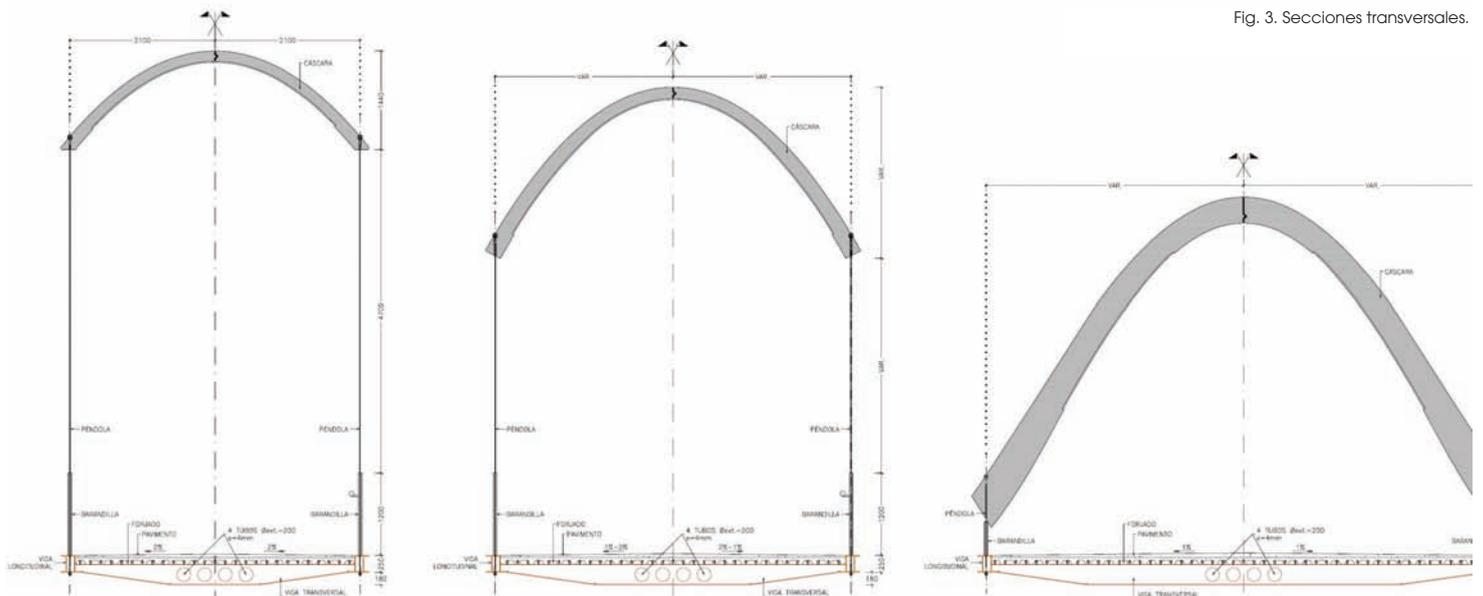
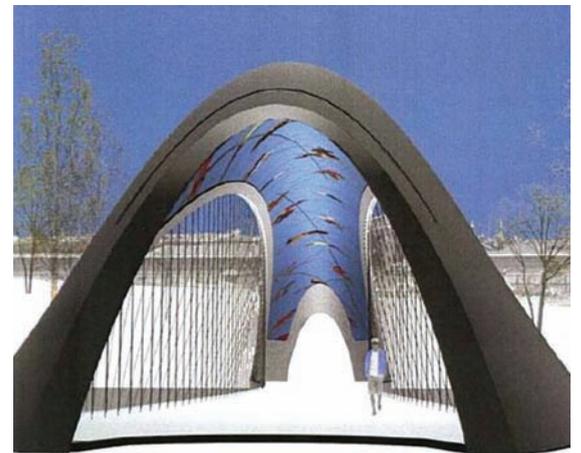


Fig. 4. Imágenes virtuales de la pasarela.



Fig. 5. Imágenes de la pasarela terminada.



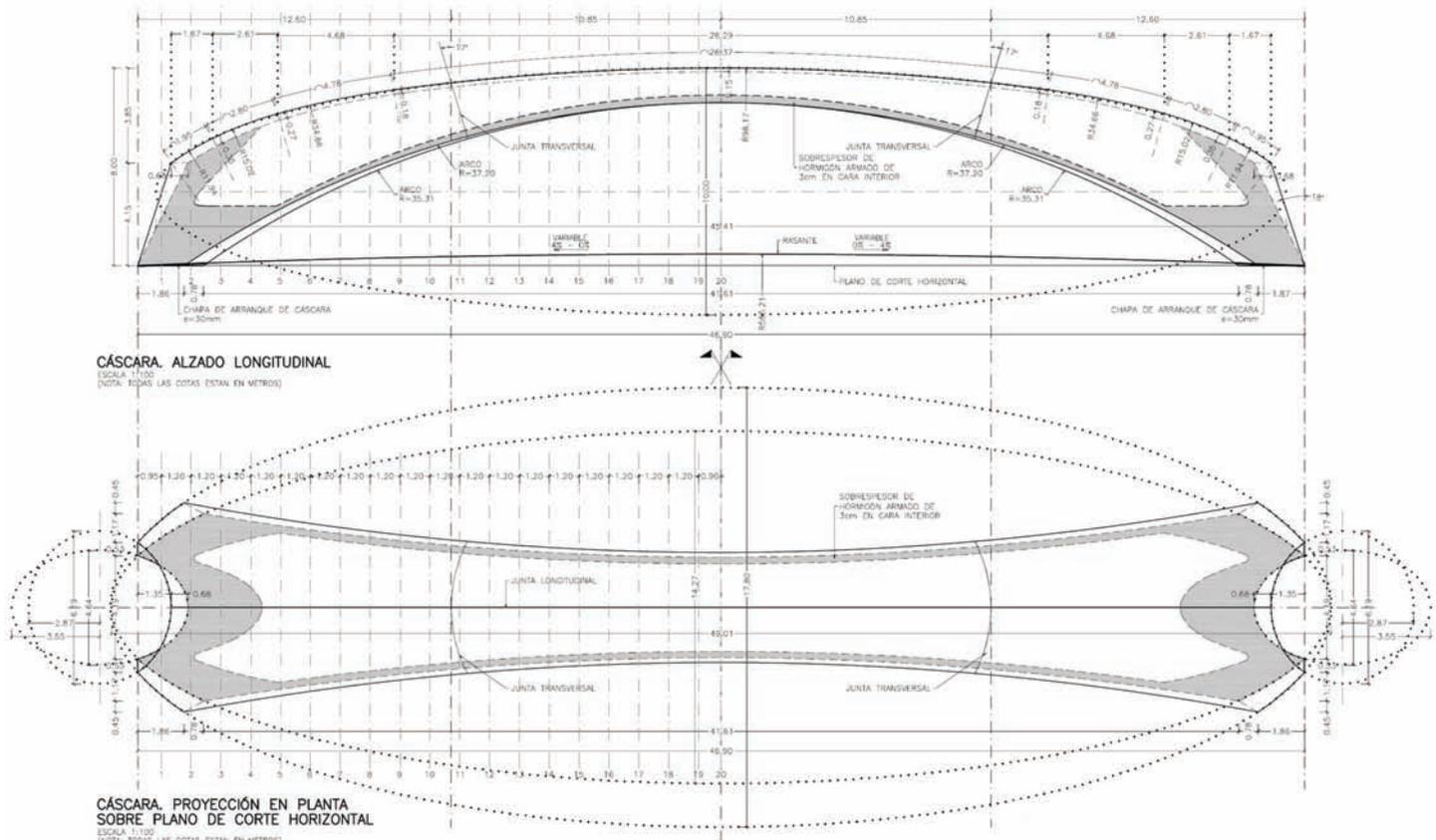


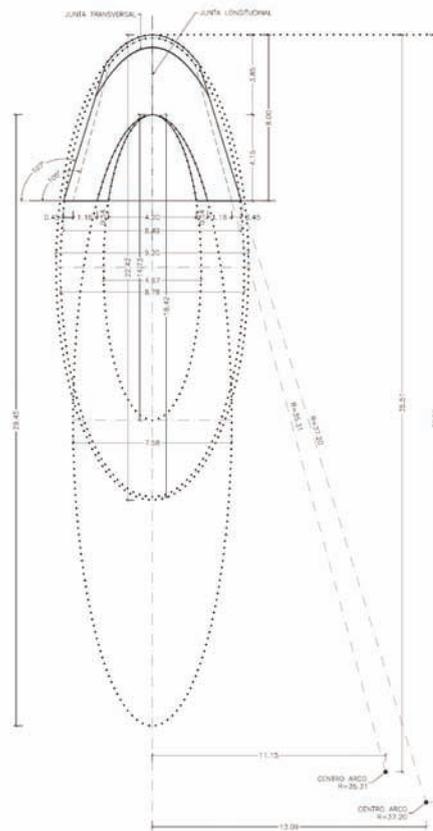
Fig. 6. Definición geométrica de la cáscara.

aprovechar la geometría desde el punto de vista estructural. Por último, la obra debía ser ejecutable, posible constructivamente.

Como siempre en este tipo de debates tiene un peso mayor alguno de los factores que se imponen sobre los demás. En este caso el factor preponderante fue la apariencia.

En la Figura 6 se muestran algunos datos de la definición geométrica de la cáscara. Como se puede ver la geometría es de una gran complejidad.

En fase de proyecto se consultaron algunos prefabricadores para ver la posibilidad de prefabricación. Esta solución se presentaba interesante al tener que construir al menos dos pasarelas. El proyecto se desarrolló, entonces, con elementos prefabricados dividiendo la lámina en seis trozos, según el eje longitudinal y tres ejes transversales. Debido a las condiciones de simetría sólo eran necesarios tres moldes para fabricar todos los elementos. Los moldes eran de gran complejidad geométrica y debían realizarse con un sistema sofisticado de definición, prácticamente con una nube de puntos. Se baraja-



ron para su realización distintos materiales, entre ellos materiales compuestos.

Con una solución prefabricada se podía encofrar solo la parte exterior y definir el hormigonado de espesor variable. Después era necesario voltear estos elementos para su colocación en su situación definitiva.

Ya en este nivel de análisis se vio la dificultad de definición de la ferralla. La geometría variable en las tres direcciones suponía una ferralla compleja que debía estudiarse muy cuidadosamente.

El acabado de las superficies fue también un tema de gran discusión. En arquitectura es muy frecuente el realizar pruebas de acabado. A nivel de proyecto se plantearon unos acabados, compatibles con la solución prefabricada, que luego debían ser estudiados más profundamente.

Lamentablemente, llegado el momento de la construcción los prefabricadores contactados se fueron desmotivando para la realización de la obra, aludiendo problemas de ejecución, transporte, montaje, etc, que terminaron, como se explica en el apartado 4, decantando que la ejecución fuera in situ.

El tablero siempre se pensó como mixto, constituido por dos vigas metálicas longitudinales, vigas

metálicas transversales y una losa superior hormigonada sobre chapa grecada.

3. Descripción de la solución estructural

La solución estructural planteada consiste en un arco de hormigón armado con tablero inferior metálico de 43,50 metros de luz, 49,10 metros de longitud total y 7,70 metros de flecha máxima. El tablero se sustenta mediante dos filas de péndolas de 8,10 mm de diámetro dispuestas cada 0,60 m a cada lado.

La sección transversal del arco es una bóveda de dimensiones variables. El espesor es variable desde el centro de vano hasta los apoyos, así como en una misma sección transversal, desde el eje longitudinal hasta los bordes. El espesor mínimo es de 0,15 metros en el centro de vano y en el eje longitudinal, siendo el máximo espesor de 0,57 metros en los apoyos del arco sobre el tablero. La lámina es de hormigón de calidad HA40 y está armada con una malla de armadura de diámetro relativamente pequeño, 12 a 0,10.

El tablero está formado por dos vigas longitudinales de 0,25 m de canto y vigas transversales cada 2,40

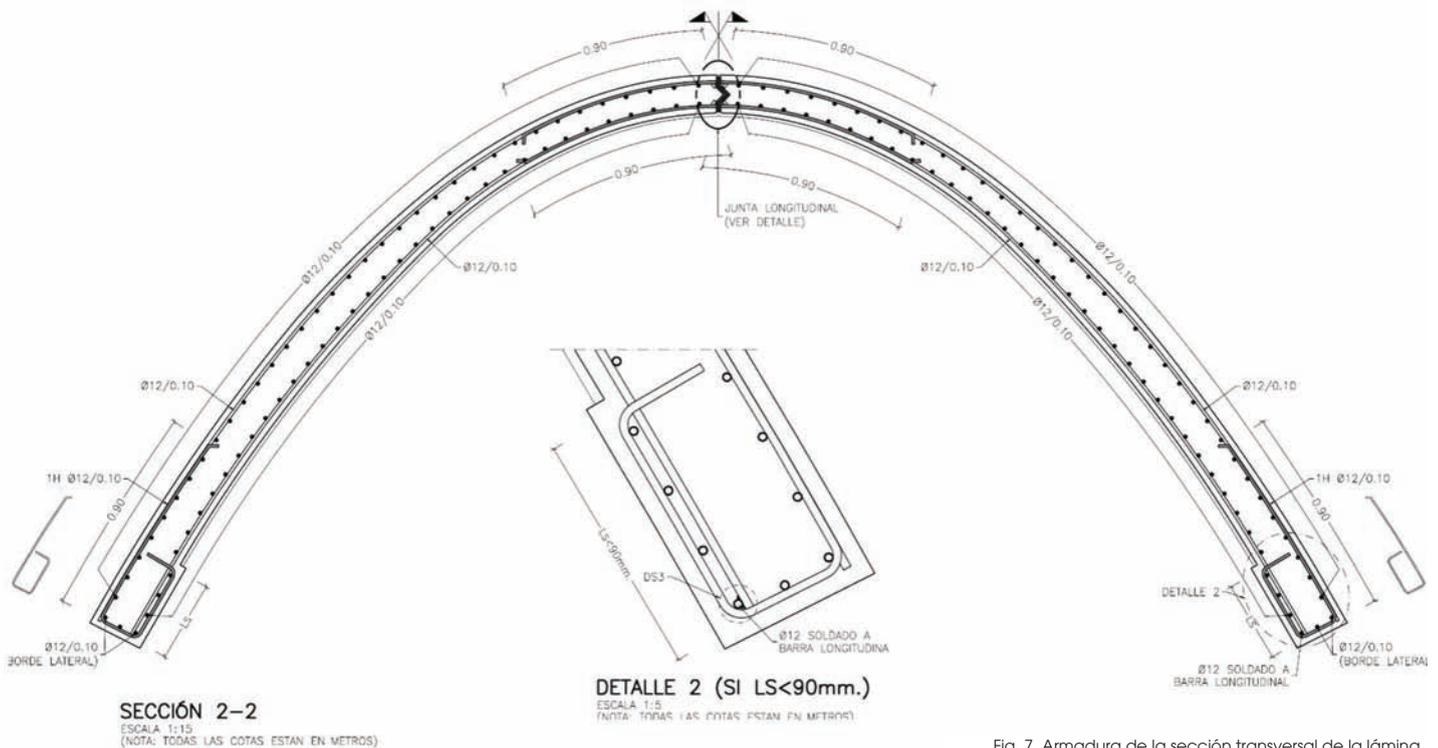


Fig. 7. Armadura de la sección transversal de la lámina.

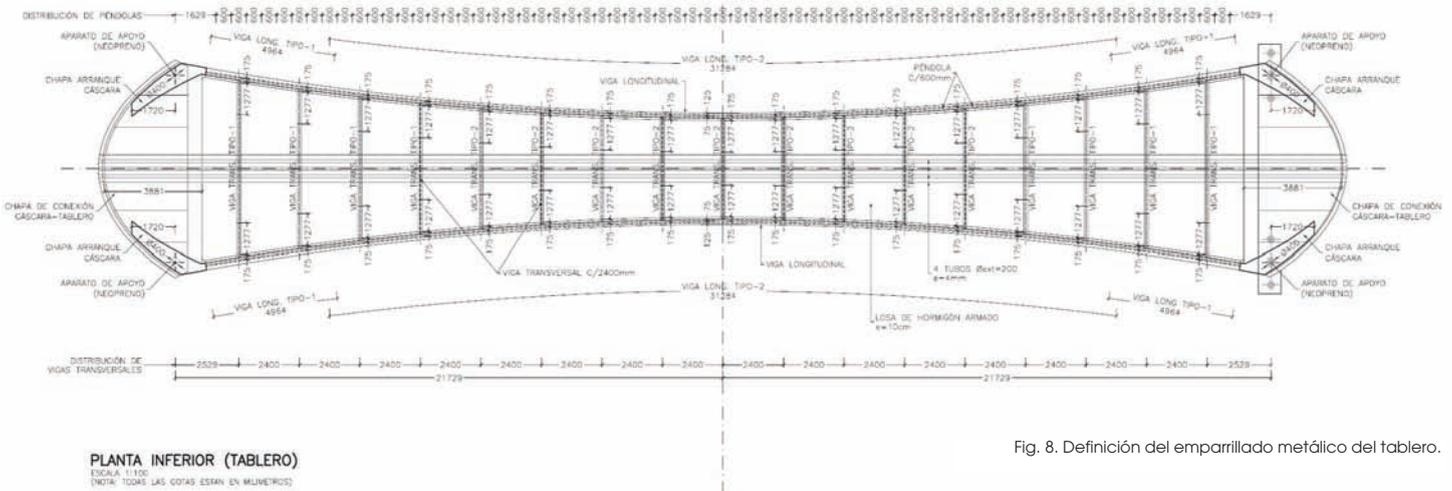


Fig. 8. Definición del emparrillado metálico del tablero.

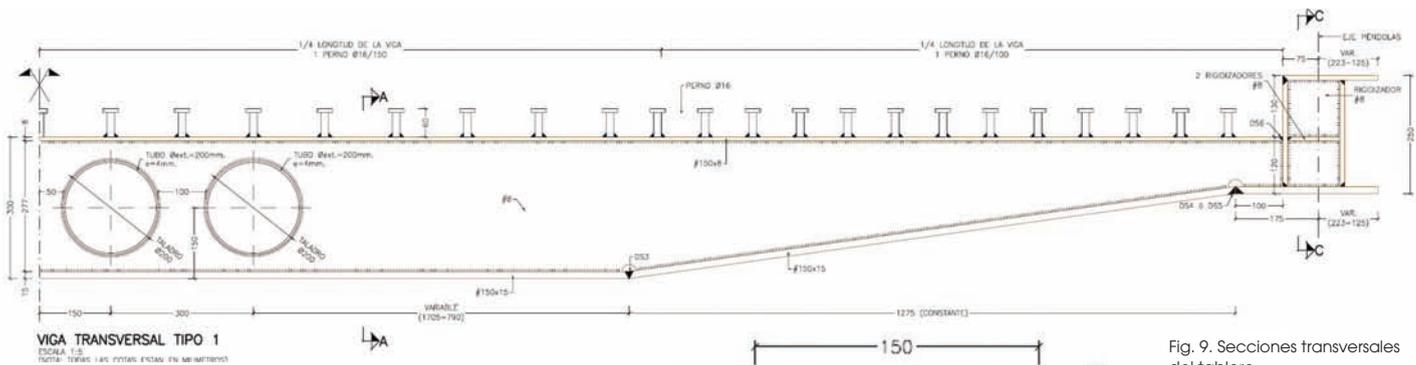


Fig. 9. Secciones transversales del tablero.

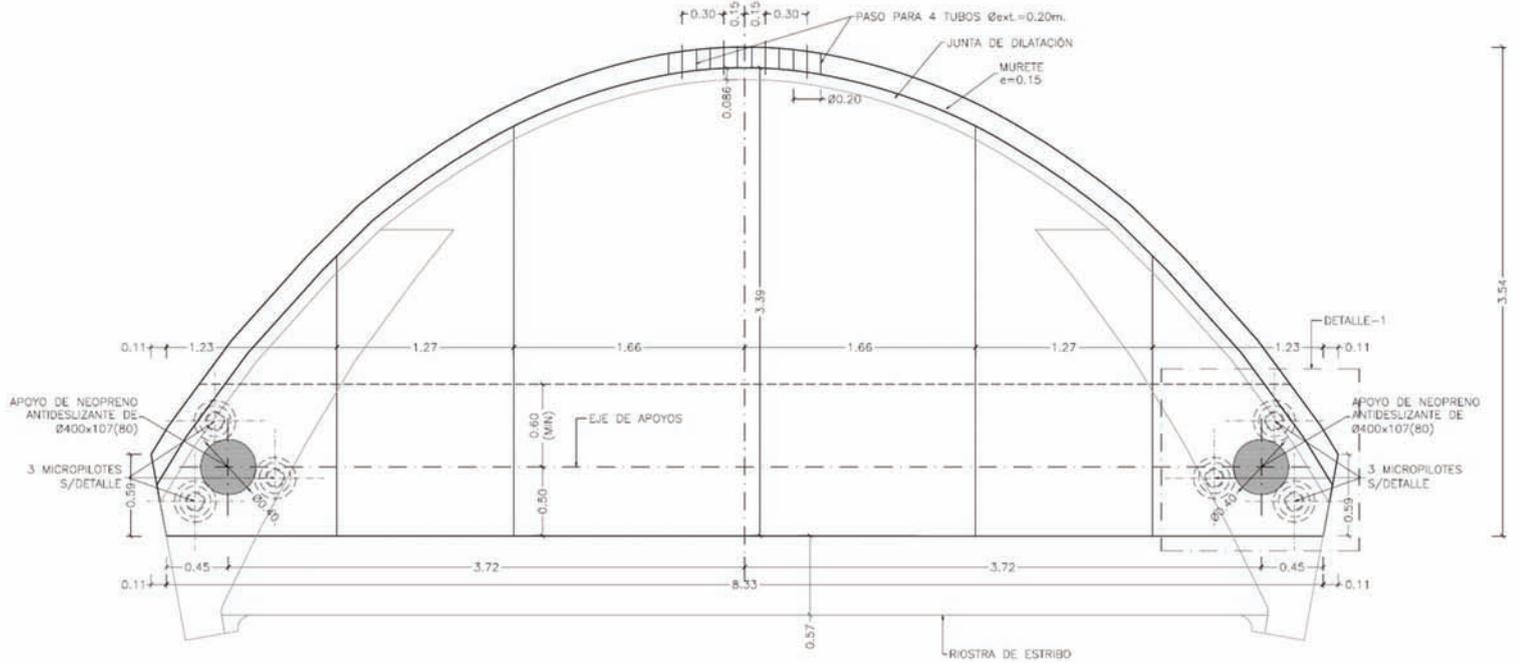
m sobre las que se dispone una losa de hormigón armado de 0,10 m de espesor. La esbeltez del tablero es pues de 1/24. El ancho del tablero es variable, impuesto por la proyección en planta del arco - bóveda, siendo de 4,50 m de ancho mínimo en el centro de vano, y de 8,40 m de ancho máximo en estribos.

La solución planteada para las cimentaciones de los estribos, es diferente según se trata de los estribos de la margen derecha (Oeste) o los de la margen izquierda (Este).

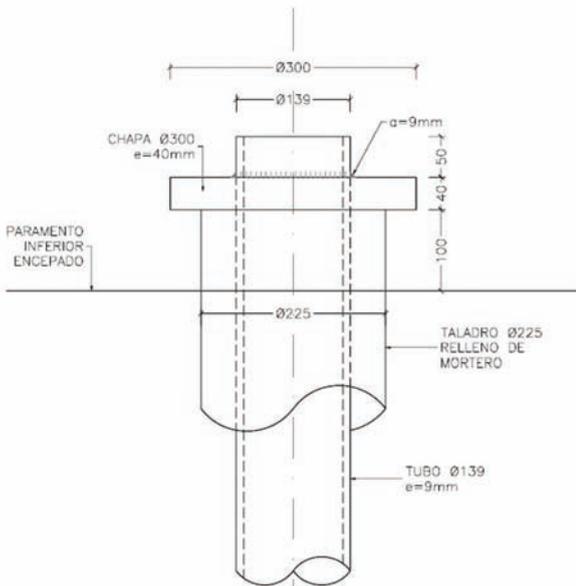
En el caso de los estribos de la margen Oeste, las estructuras se apoyan sobre vigas de cimentación que reparten la carga sobre las pantallas preexistentes de los túneles del soterramiento de Calle 30. El resto del estribo se compone por un cajón cerrado de hormigón armado relleno de arlita para no sobrepasar la carga admisible de 30 kN/m² de la losa superior del soterramiento.

En el caso de los estribos de la margen Este, al existir mayor espacio entre el cajero del río Manzanares y las pantallas de los túneles, se ha optado por cimentación profunda mediante 6 micropilotes de

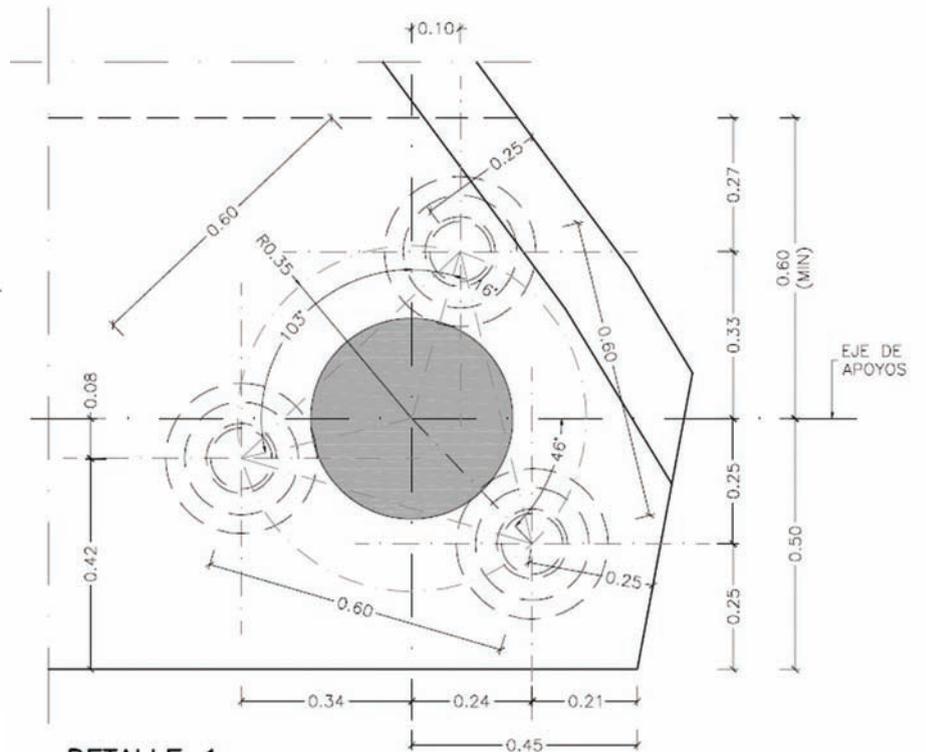
VIGA TRANSVERSAL TIPO 1
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:3
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



PASARELA NORTE
PLANTA DEL ESTRIBO DE LA MARGEN ESTE
 ESCALA 1:25
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN METROS)



DETALLE DE MICROPILETE. ALZADO
 ESCALA 1:5
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



DETALLE 1
 ESCALA 1:10
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN METROS)

Fig. 10. Cimentaciones de ambos estribos, resueltas con micropilotes.

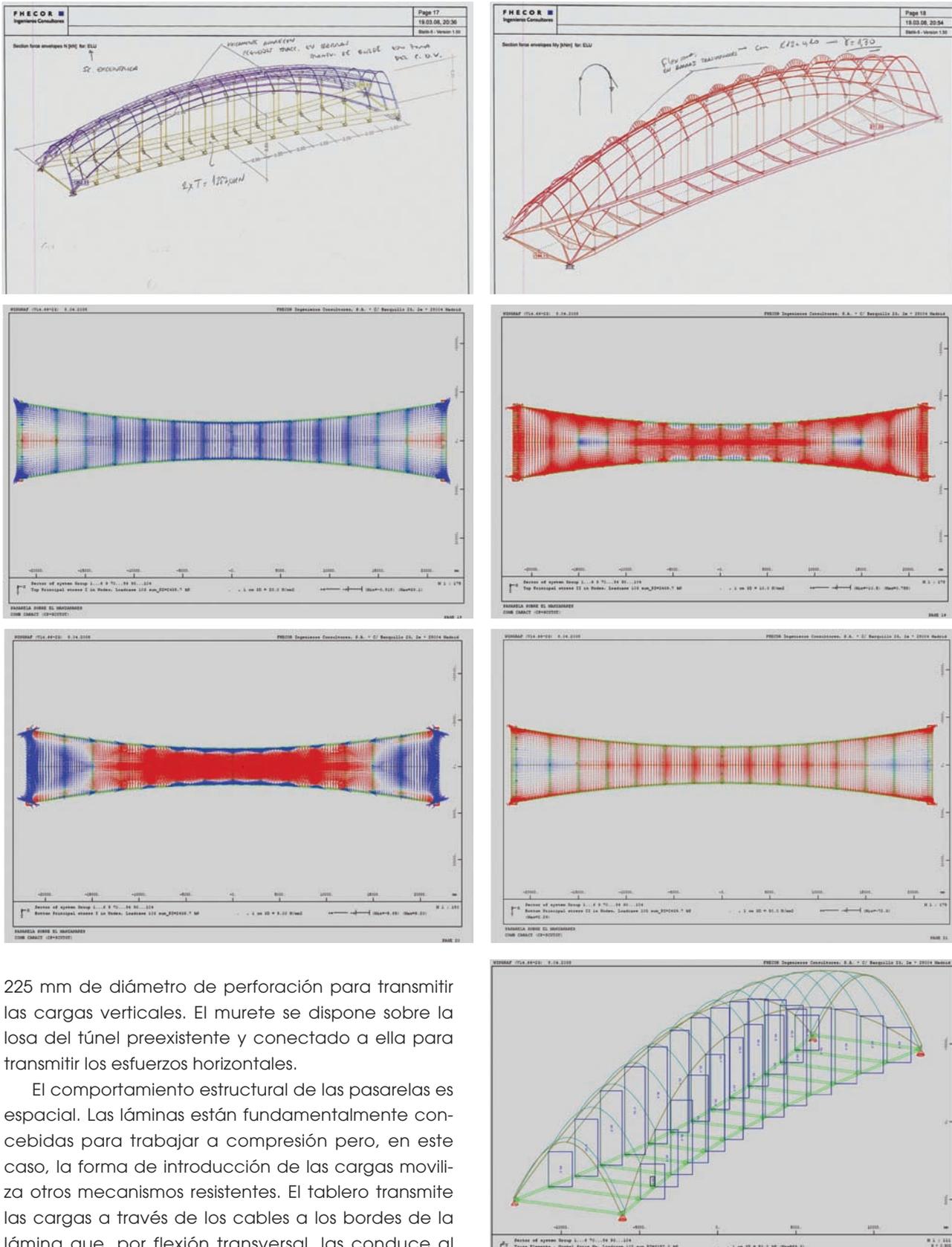


Fig. 11. Comportamiento estructural de la lámina.

225 mm de diámetro de perforación para transmitir las cargas verticales. El murete se dispone sobre la losa del túnel preexistente y conectado a ella para transmitir los esfuerzos horizontales.

El comportamiento estructural de las pasarelas es espacial. Las láminas están fundamentalmente concebidas para trabajar a compresión pero, en este caso, la forma de introducción de las cargas moviliza otros mecanismos resistentes. El tablero transmite las cargas a través de los cables a los bordes de la lámina que, por flexión transversal, las conduce al



Fig. 12.
Estructura durante la construcción.



sistema tipo arco longitudinal que se forma en la bóveda. No obstante, los esfuerzos en la cáscara son muy modestos.

4. Aspectos constructivos

La ejecución de los estribos de la pasarela presentó únicamente las dificultades habituales en obras urbanas de espacio limitado.

Como ya se ha comentado en la margen oeste se ejecutaron vigas de cimentación directamente apoyadas sobre las pantallas preexistentes del soterramiento de Calle 30. En la margen este la cimentación se realizó mediante micropilotes.

Para la ejecución del tablero mixto fue precisa la disposición de apeos provisionales sobre el río Manzanares, por lo que se construyó una península en el cauce.

Los principales problemas de ejecución fueron los planteados por la cáscara. Una vez tomada la decisión de que debía construirse in situ se planteó la idoneidad de que fuera ejecutada con hormigón autocompactante. La bóveda se hormigonó empleando encofrado de madera de doble cara que apoyaba en una cimbra situada sobre el tablero mixto, que a su vez estaba sustentado por los apeos cimentados en la península provisional (3).

La singularidad en la forma de la bóveda hizo que tanto la fabricación y el montaje del encofrado como el ferrallado y el hormigonado de la misma fuese un trabajo totalmente artesanal de complicada ejecución, en un elemento de cantos muy estrictos (15 cm) en centro de vano.

La gran cantidad de péndolas metálicas, dispuestas cada 60 cm, complicó la puesta en carga de las mismas por el alto grado de hiperestaticidad del sistema. Inicialmente se aplicó una fuerza de tesado por grupos de péndolas, de forma que su nivel tensional al final del proceso fuese del orden de 8 – 10 kN/cm². La puesta en carga final se completó con el desapeo ordenado del tablero.

5. Consideraciones finales

Los puentes del Matadero y del Invernadero constituyen dos elementos singulares que repermeabilizan las dos orillas del manzanares, entre el



Fig. 13. Detalles del encofrado.



Ficha técnica

Autores del proyecto:

Burgos&Garrido Arquitectos:	Francisco Burgos y Ginés Garrido (director de equipo)
Porras&La Casta Arquitectos:	Fernando Porras y Arantxa La Casta
Rubio&Alvarez-Sala Arquitectos:	Carlos Rubio y Enrique Álvarez Sala
West 8 Landscape Architects:	Adriaan Geuze y Edzo Bindels
Fhecor Ingenieros Consultores:	Hugo Corres, Jose Romo, Julio Sánchez, Cristina Sanz

Proyecto estructural: FHECOR Ingenieros Consultores

Asesores iluminación: ALS: Antón Amann y Mikel Juarrero

Ingeniería general: Typsa Ingenieros Consultores y Arquitectos

Empresa constructora: ACCIONA Infraestructuras

barrio de Usera y Arganzuela, y suponen una puerta de comunicación entre el Parque de Arganzuela y el nuevo centro de creación contemporánea de Matadero.

Es una obra que ha requerido de la conjunción de muchas voluntades, que en el pasado encarnaba un solo individuo. Ha hecho falta la voluntad de arquitectos, ingenieros, constructores y un artista para hacerla posible.

Desde el punto de proyecto ha requerido la búsqueda intensa de una solución que resolviera los aspectos formales, la compatibilidad con la instalación de una obra de arte especialmente concebida y la idoneidad para su comportamiento estructural y realización constructiva.

Desde el punto de vista constructivo ha requerido el uso de sistemas muy especiales para garantizar su ejecución y condiciones de acabado. ◆

Referencias:

- (1) FERNÁNDEZ PER, Aurora; ARPA, Javier. *The Public Chance*. Vitoria: MRIO Arquitectos, 2008. 420 p. ISBN 978-84-612-4488-1.
- (2) MRIO ARQUITECTOS. "Jugar en el Bosque: El

sistema de juegos infantiles en el Salón de Pinos". *Diseño de la Ciudad*, 2010, nº 75. ISSN 1136-9213.

- (3) CORRES PEIRETTI, H.; SEIJO VEIGUELA, C.; GARCIA ESPINEL, J.D.; CALVO HERRERA, I.; GRAY VALOS MORENO, J.; CHOZAS LIGERO, V.; LAMPE

CARRERAS, R.; VIÑOLO ALBIOLE, A. "Aplicación de tecnologías avanzadas del hormigón en las pasarelas en cáscara sobre el río Manzanares para el proyecto de Madrid Río". *Revista Obras Públicas (ROP)*, 2010, nº 3.515, p. 7-18. ISSN: 0034-8619.