

Pasarela del Voluntariado

The Voluntariado Footbridge

Javier Manterola Armisén. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Carlos Fernández Casado S.L. jmanterola@cfcsl.com

Resúmen: La Pasarela que vincula las dos orillas del Ebro, aguas debajo de la EXPO 2008 consta de dos vanos, de 141 y de 94 m. respectivamente, y está atirantada en un solo borde, siendo curva su planta. El artículo describe los antecedentes así como el proyecto y el proceso constructivo de esta infraestructura, deteniéndose, asimismo en describir una solución más sofisticada, estudiada previamente y desechada por superar el presupuesto previsto, también curva, de sección ovoidal y con una protección de cristal que evita los efectos del viento en los peatones que la atraviesan.

Palabras Clave: EXPO ZARAGOZA; Pasarela atirantada; Pasarela curva; Secciones ovoidales; EXPOZARAGOZA 2008

Abstract: The curved footbridge crossing the river Ebro downstream from the EXPO 2008 consists of two spans of 141 m and 94 m and is stayed on one side only.

The article describes the background of the bridge together with the design and construction process of this infrastructure and goes on to describe a more sophisticated solution to this bridge which was previously studied and later discarded as it exceeded the budget. This similarly curved solution was ovoidal in section and was glazed to protect pedestrians from the wind.

Keywords: EXPO ZARAGOZA; Stayed footbridge; Curved footbridge; Ovoid section; EXPOZARAGOZA 2008



Fig 1. Vista de la Pasarela desde la margen izquierda, agua arriba de la mismas.

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de octubre de 2008

Recibido: junio/2008. Aprobado: junio/2008

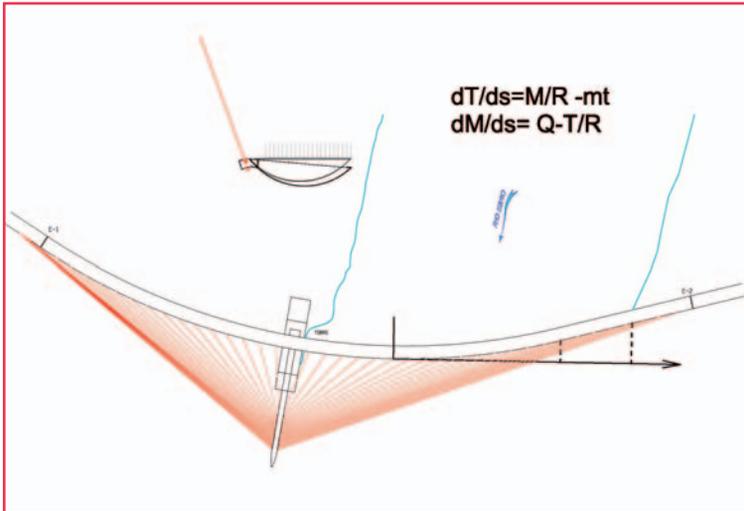


Fig. 2. Acoplamiento entre flexión y torsión en el dintel curvo.

Situada aguas abajo de la Expo 2008, la pasarela que vincula los dos márgenes del Ebro, consta de dos vanos de 141 m., el correspondiente al cruce del Ebro y otro de 94 m. situado en el vano de avenidas de la margen derecha del río. Es una pasarela atirantada, en un solo borde. La planta de la pasarela es curva de 230 m. de radio. Fig. 1.

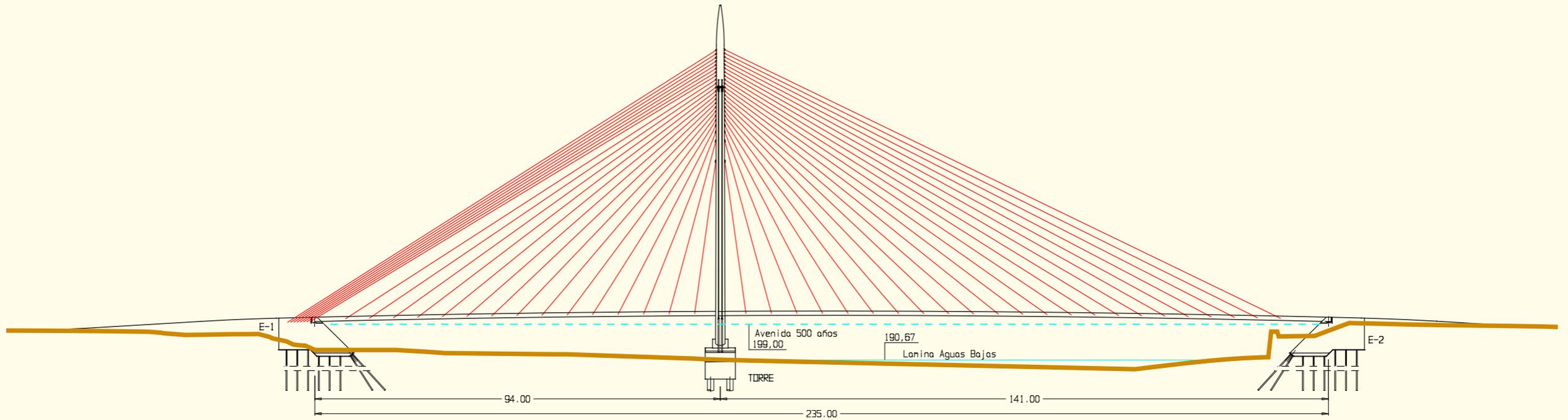
En el acoplamiento resistente entre la flexión y la torsión, que se verifica en todo dintel curvo, reposa el “quid” de su comportamiento resistente. El contrarresto de la torsión por el incremento o reducción de la carga en los tirantes permite adoptar disposiciones tan asimétricas como la que aquí presentamos sin que las torsiones se disparen, lo que ocurriría en el caso de que la planta del dintel sea recta. Fig. 2.

La inclinación de la pila tiene como sentido minimizar la flexión trasversal de la misma como consecuencia de la falta de coincidencia entre el cono de tirantes y el eje de la pila. Esta disposición geométrica minimiza la excentricidad de la carga en la pila. Fig. 3.

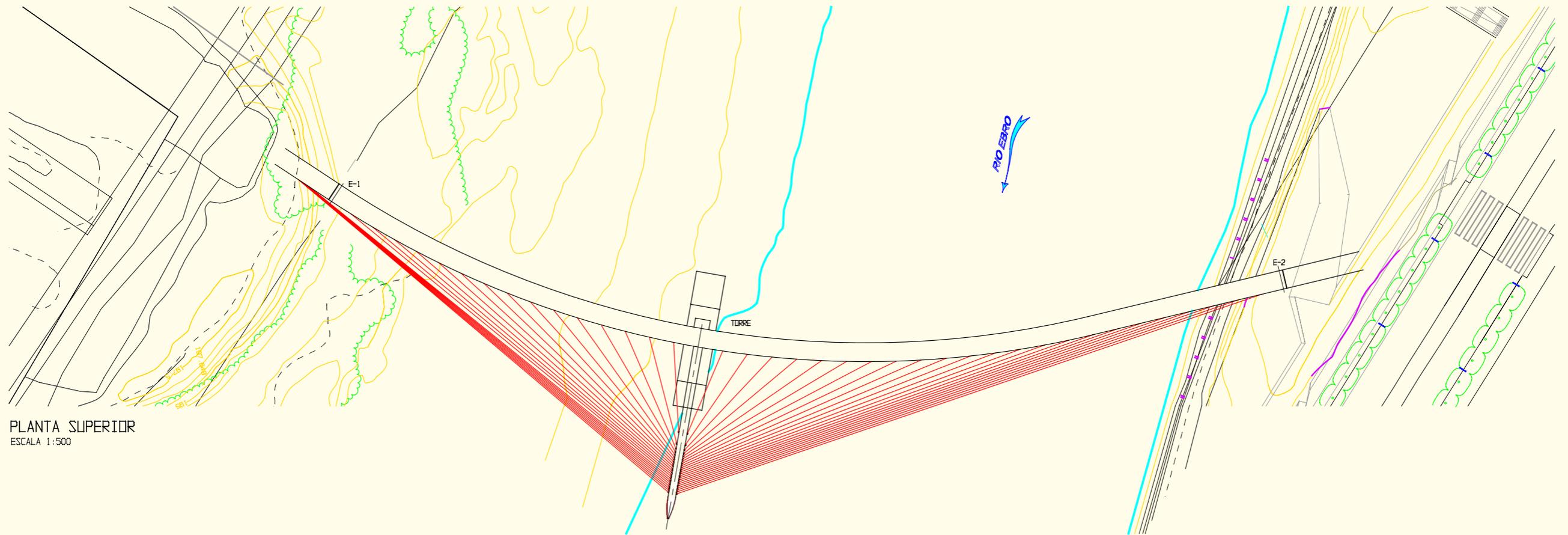
Antecedentes

Esta disposición, planta curva y atirantamiento a un borde, la hemos utilizado muchas veces. La primera vez en la pasarela del Malecón en Murcia de 1995-1996. La luz de la pasarela es de 60 m., el atirantamiento es espacial con 30 tirantes delanteros, situados





ALZADO GENERAL (DESARROLLADO)
ESCALA 1:500



PLANTA SUPERIOR
ESCALA 1:500

GEN-01



Consortio Expo Zaragoza 2008

PROYECTOS DE MÁRGENES Y RIBERAS URBANAS DEL RÍO EBRO - ZARAGOZA

DIRECTOR DEL PROYECTO:
Javier Mondus, Arquitecto
Jefe de Área del Plan de Acompañamiento

PROYECTO: CARLOS FERNANDEZ CASADO S.L. OFICINA DE PROYECTOS
INGENIERO DE CAMINOS C. y P. JAVIER MANTEROLA ARMISEN
AMANDO LOPEZ PABILLA

NOMBRE DEL PROYECTO:
ÁMBITO U4-U5
PARQUE DE LA ALMOZARA

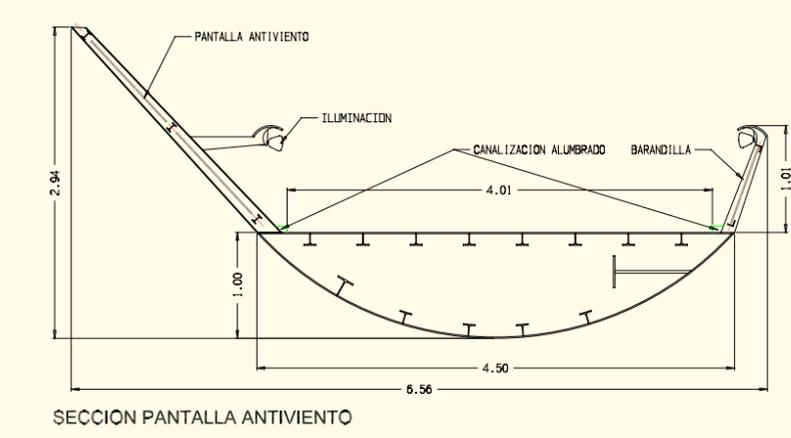
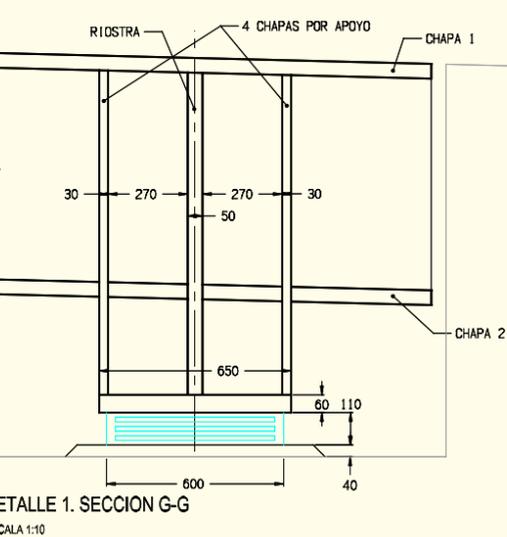
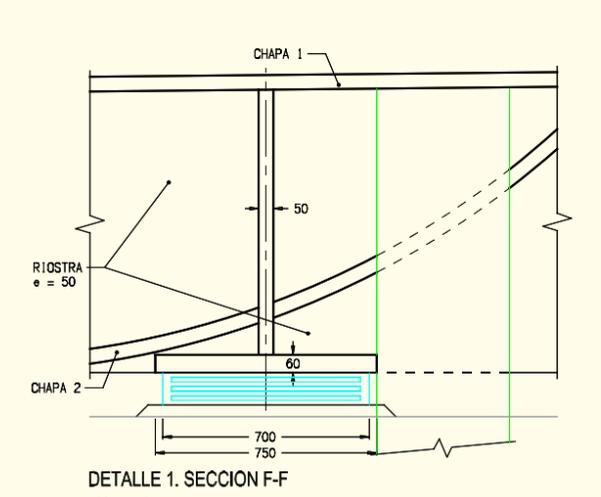
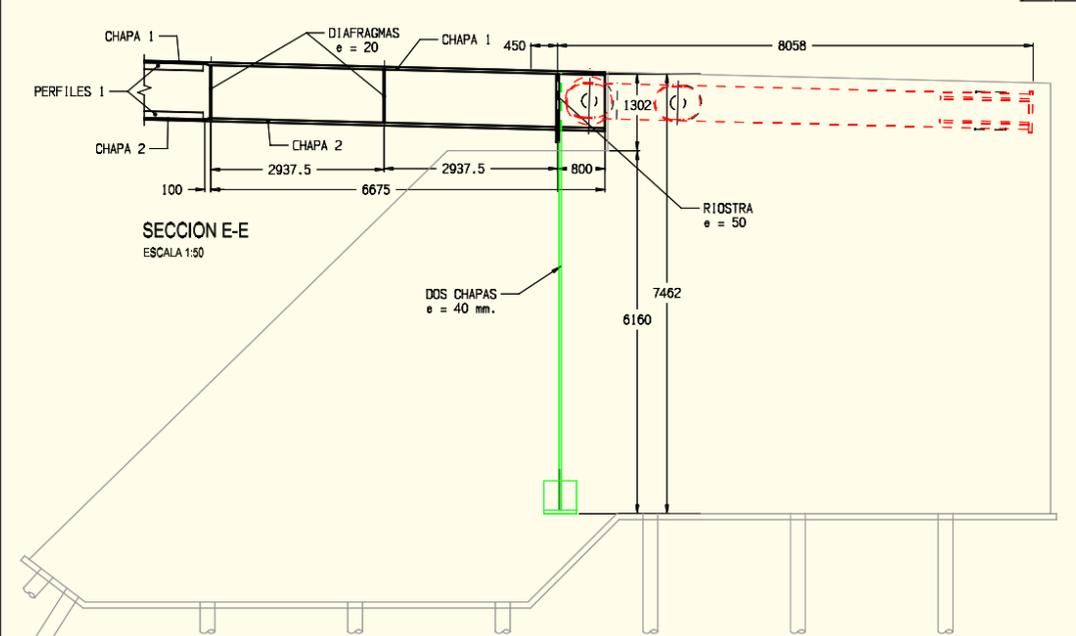
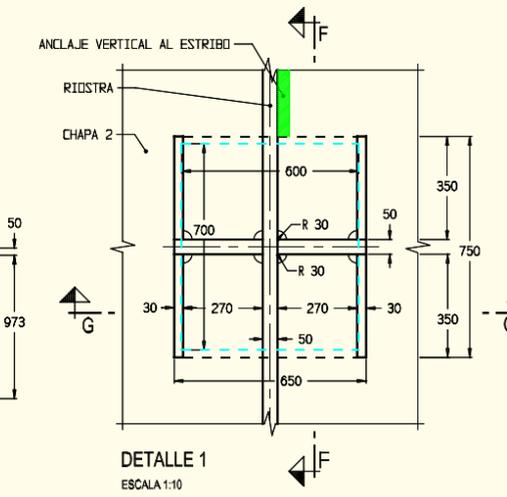
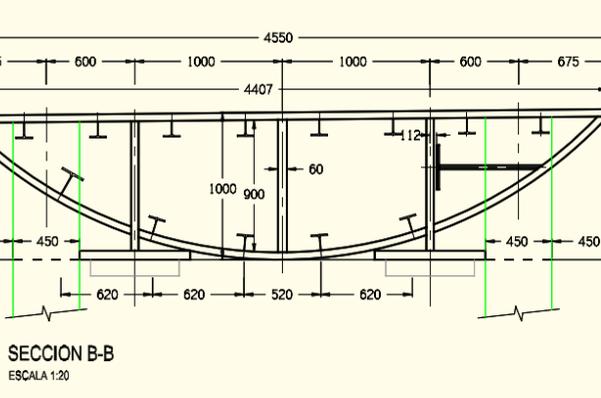
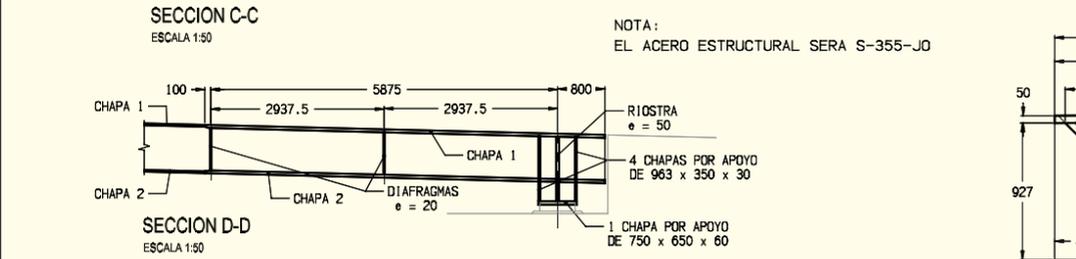
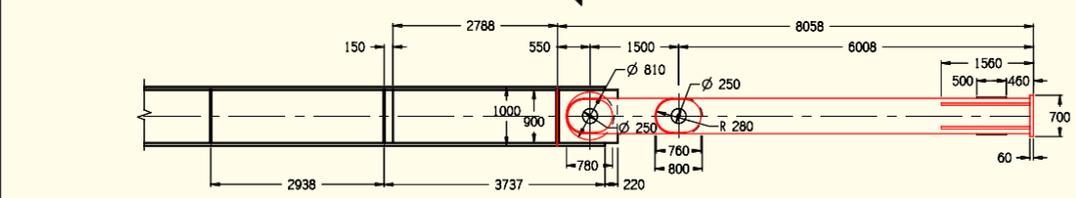
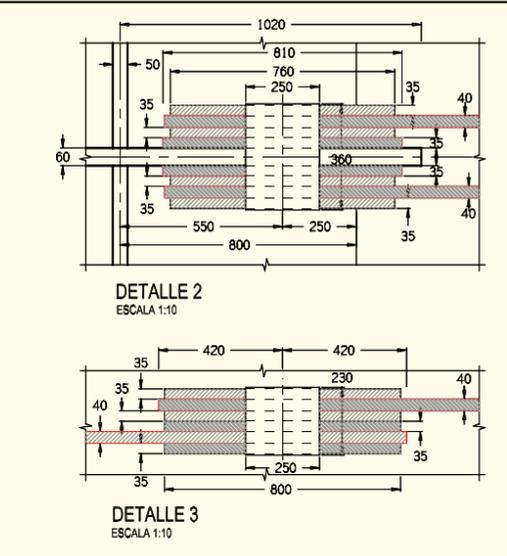
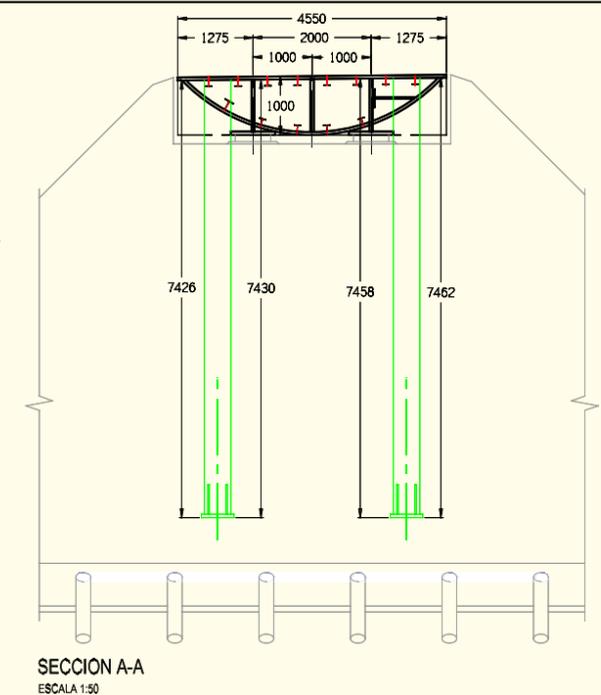
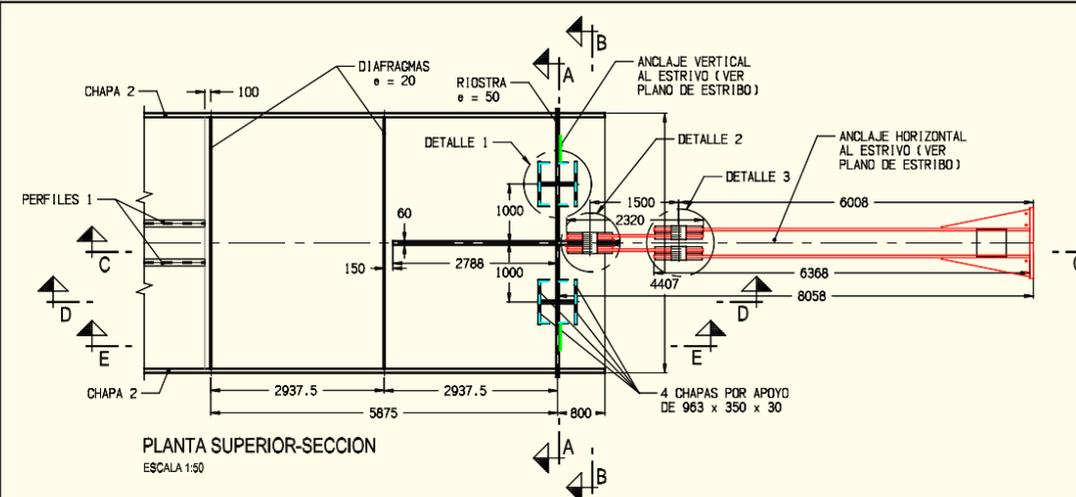
ESCALAS:
1/500
ORIGINALES A1



FECHA:
SEPTIEMBRE 2006
ARCHIVO:
GEN-01

PLANO: PASARELA PEATONAL GENERALES PLANO GENERAL

PLANO Nº 1.
HOJA 1 DE 4



en el borde interior del dintel y 15 tirantes de compensación en la parte de atrás de la torre.

El dintel es metálico, se sección triangular, con 0,7 m. de canto máximo en el borde de cuelgue y acaba en cero en el borde opuesto. Fig. 4.

A esta pasarela le concedieron el premio de Arquitectura y Urbanismo de la región de Murcia en 1999.

En el año 2002 utilizamos esta disposición en la pasarela de Lorca-Murcia, asociada a un arco (Fig. 5), como elemento de soporte. La pasarela tiene 85 m. de luz y 16 m. de flechas. El radio en planta de la curva del dintel es de 153 m. y el dintel vuelve a ser triangular con un canto máximo de 1 m, siempre situado en el borde de cuelgue.

Ese mismo año de 2002, construimos dos obras: un puente y una pasarela en la que volvimos a utilizar el mismo artificio.

En el puente sobre el río Ebro en Logroño, las pasarelas laterales cuelgan del arco central de 140 m. de luz. Las pasarelas laterales tienen una sección trapezoidal, 4,00 m. de anchura superior, 2 m. de anchura inferior y 1,1 m. de canto. Son totalmente metálicas, no

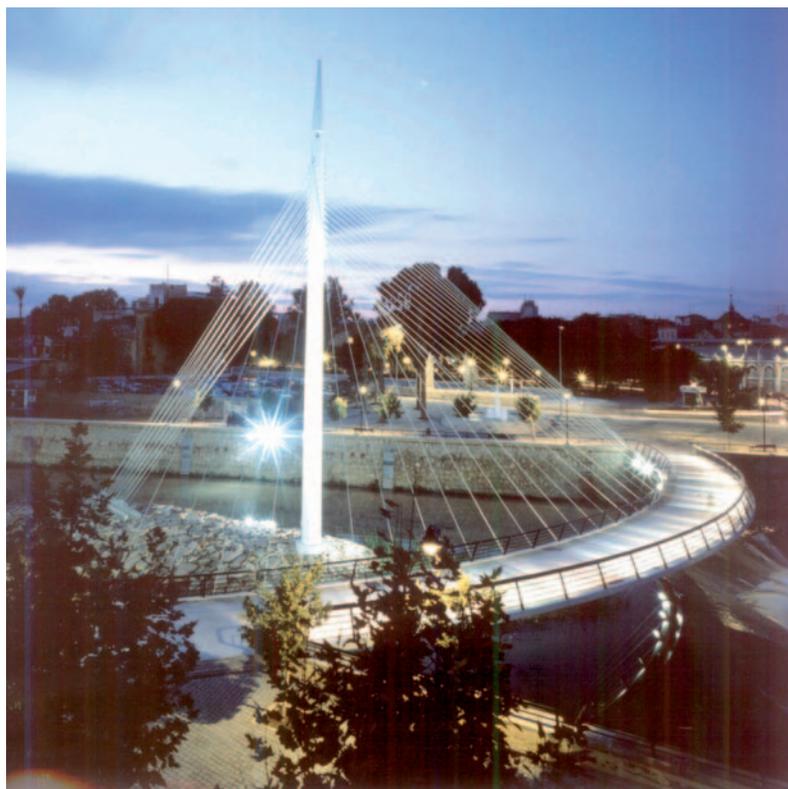


Fig. 4. Pasarela del Malecón (también conocida como pasarela Manterola) Murcia 1995-96.



Fig 5. Pasarela sobre el río Guadalentín en Lorca, Murcia 2002.

Fig 6. Puente arco sobre el río Ebro en Logroño. Luz 140 m. (2002-03)

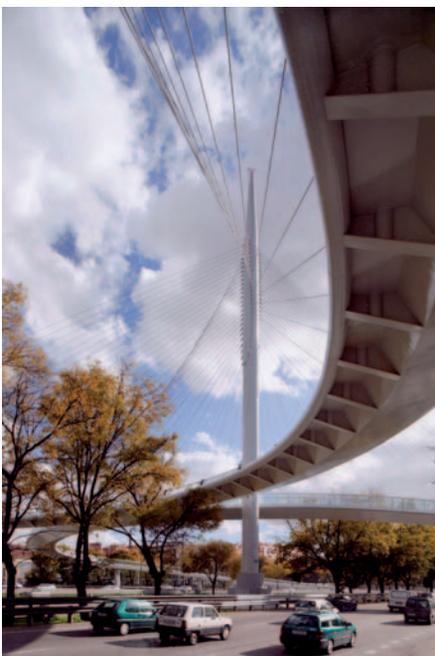
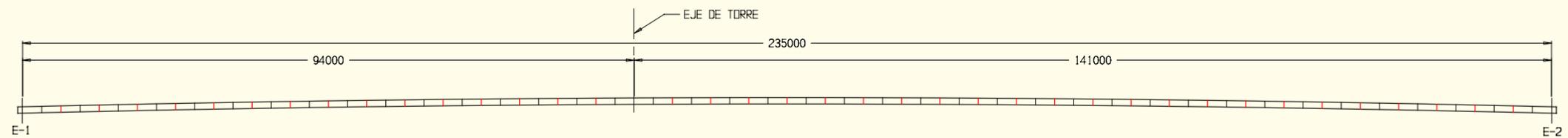
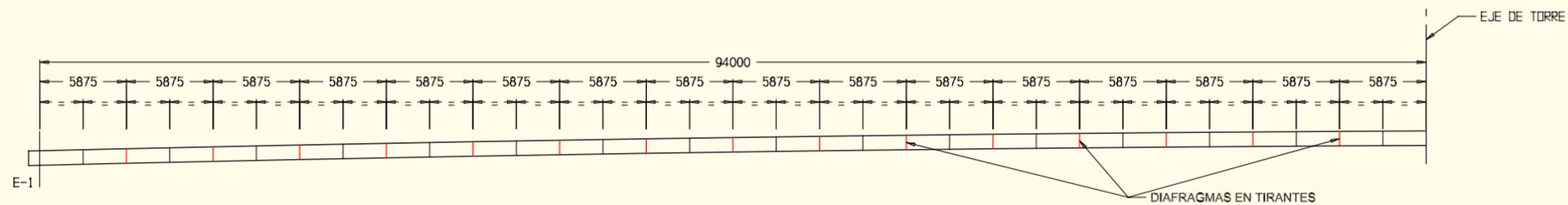


Fig. 7. Pasarela sobre el río Manzanares. 2002 - 2003. A la derecha, Fig. 8. Pasarela de Padua.





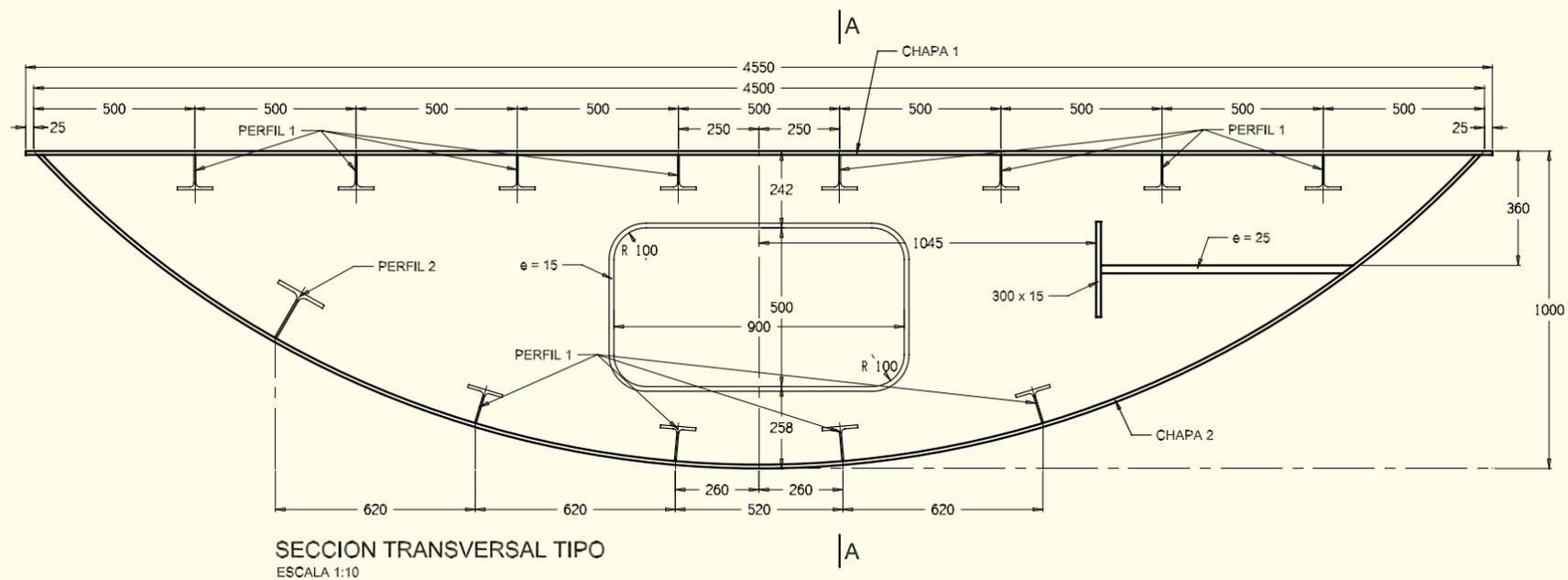
ALZADO ESQUEMATICO



CHAPA 1	50	15		12	CHAPA 1
CHAPA 2	50	15		12	CHAPA 2
PERFIL 1	1/2 IPE 220				PERFIL 1
PERFIL 2	1/2 IPE 330				PERFIL 2
DIAFRAGMA	20(*)	12		10	DIAFRAGMA

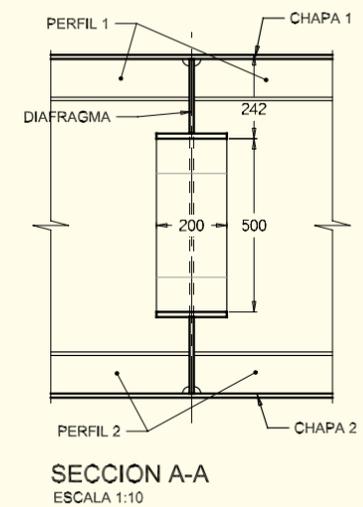
(*) SOBRE EJE DE ESTRIBO e=40mm.

DISTRIBUCION DE CHAPAS
ESCALA 1:200

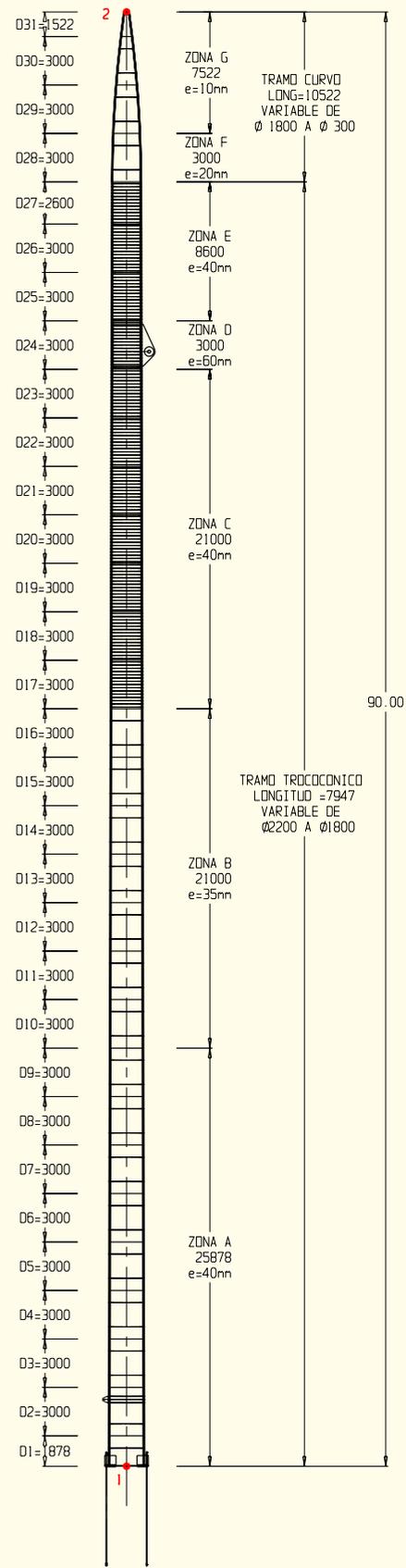


SECCION TRANSVERSAL TIPO
ESCALA 1:10

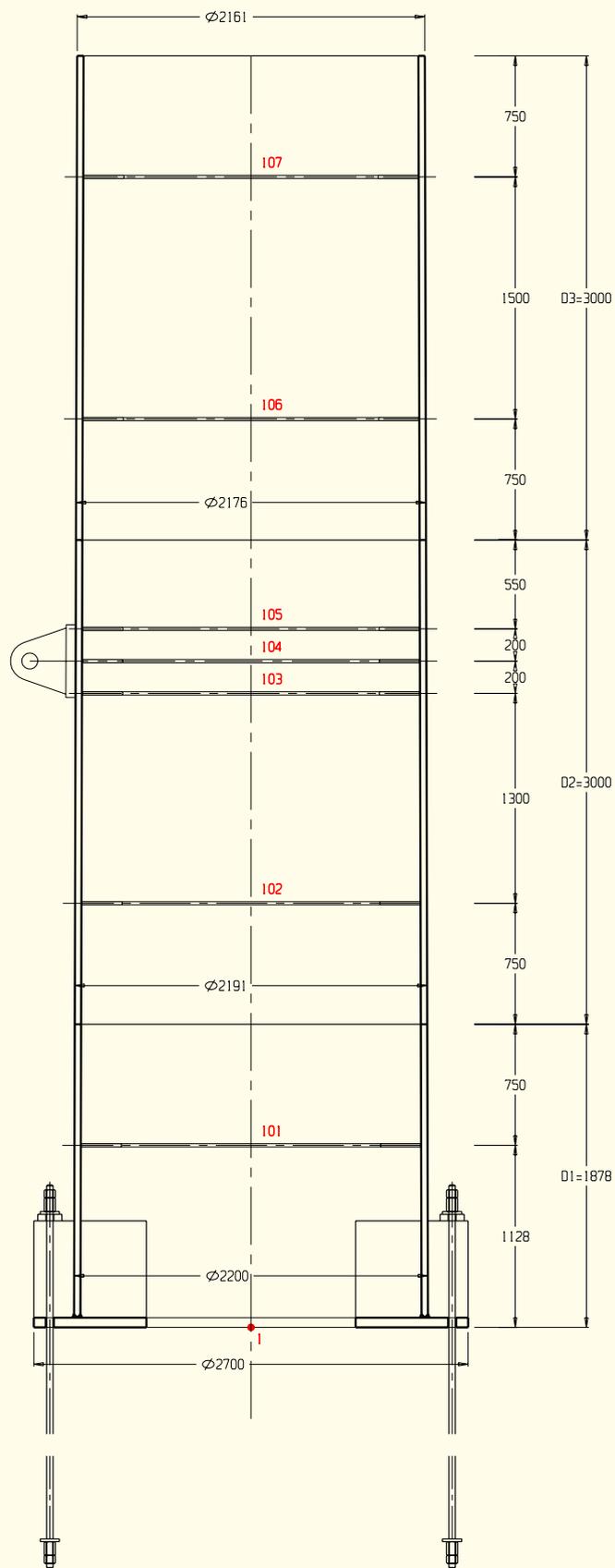
ACERO ESTRUCTURAL S355 J0



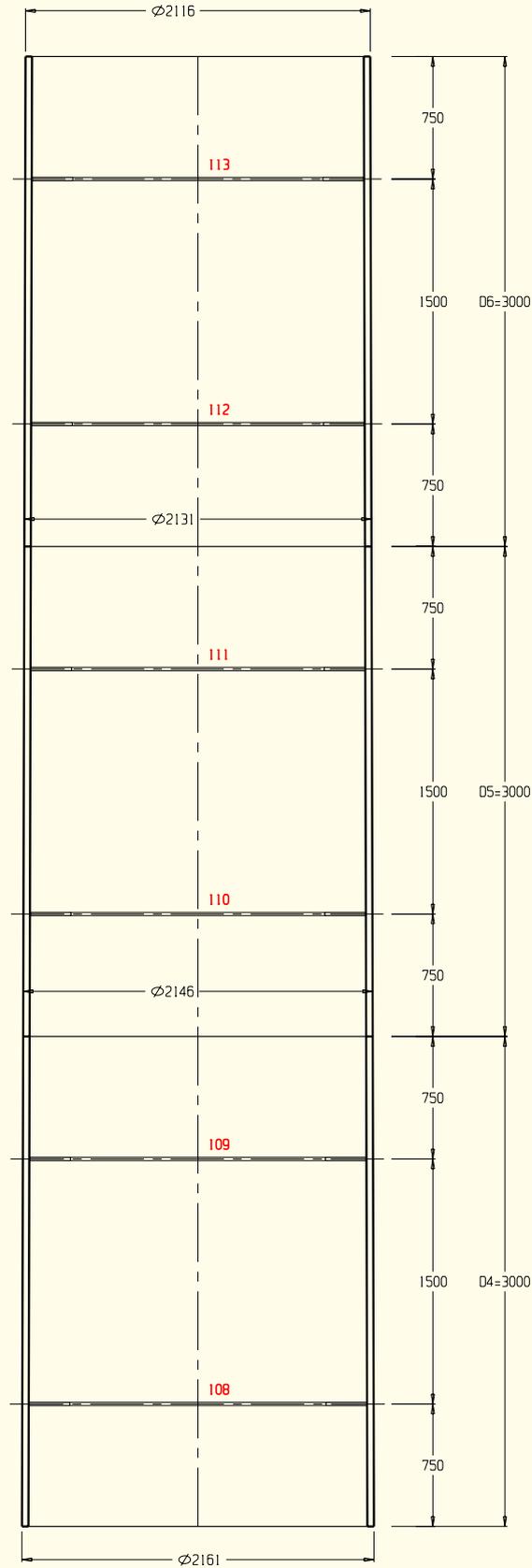
SECCION A-A
ESCALA 1:10



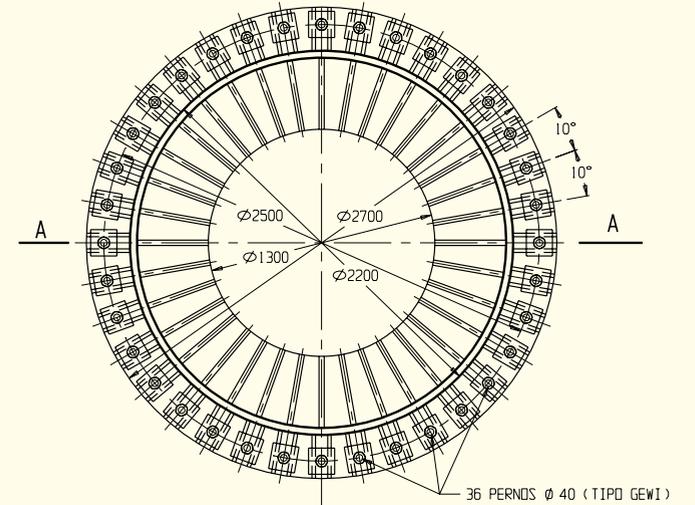
SECCION DE TORRE
ESCALA 1:200



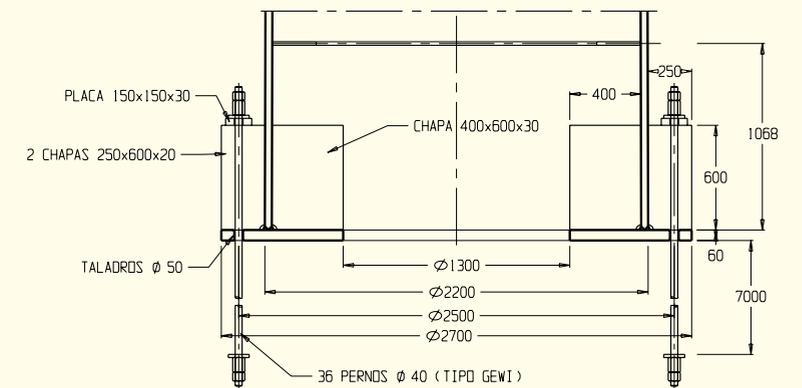
DOVELAS 1-2 Y 3
ESCALA 1:20



DOVELAS 4-5 Y 6
ESCALA 1:20



ANCLAJE DE TORRE
ESCALA 1:20



SECCION A-A
ESCALA 1:20

así el dintel central del puente de sección trapezoidal y 2,00 m. de canto de estructura mixta. Fig. 6.

En el mismo año 2002 construimos la pasarela colgada sobre el río Manzanares, Fig. 7, de 147 m. de luz entre estribos, colgada desde un solo mástil de 42 m. de altura y 1,5 m. de diámetro que cuelga dos pasarelas de 3 m. de anchura que se juntan en el centro del río para permitir la circulación de peatones entre los cuatro extremos de las pasarelas curvas.

Consecuencia también de esta idea es la pasarela no construida de Padua (Fig. 8).

Pasarela del Voluntariado

El dintel es totalmente metálico, tiene 4,5 m. de anchura y 1 m. de canto. La losa superior es metálica, en este caso en un solo plano horizontal y la inferior curva de radio 3 metros. Los espesores de estas chapas son moderados, variando entre 12 y 15 mm, en el vano de 94 metros y llegando a 30 mm en el vano sobre el río, salvo en los 5,90 metros próximos a los estribos que los espesores son considerables llegando a 50 mm. En los 5,90 metros próximos a los estribos se añade un alma en el eje de la sección, de 50 mm de espesor. La celda exterior del lado de los tirantes, es necesario rigidizarla, quedando dividida en dos partes por una chapa horizontal de 16 mm de espesor. Tanto la chapa superior como la inferior se rigidizan longitudinalmente con perfiles en T. Fig. 9.

La pila es inclinada. Tiene 90 m. de longitud, 78,3 m. de altura respecto a su empotramiento en el cimiento y 30° de inclinación respecto a la vertical. Su sección es circular de radio variable, desde 1,1 m. en su empotramiento en la base hasta 0,9 m. a 79,5 m. de distancia respecto al empotramiento. Desde este punto hasta la parte superior, a 90 m. de distancia el diámetro disminuye hasta hacerse nulo. El espesor de las chapas varía desde 40mm. en el cuerpo principal de la pila, hasta 10 mm. en la parte superior no resistente. Se rigidiza interiormente con coronas circulares de diámetro, ancho y espesor variable.

La separación entre ellas varía según las zonas de la pila, siendo de 1.50 metros en la zona inferior y de 0.20 metros en la zona de anclaje de los tirantes. Los tirantes se anclan a la torre por medio de unas orejetas triangulares que se sueldan a la pila. Estas orejetas están provistas de un taladro en el que se introduce el bulón de anclaje del tirante, reforzado con chapas en

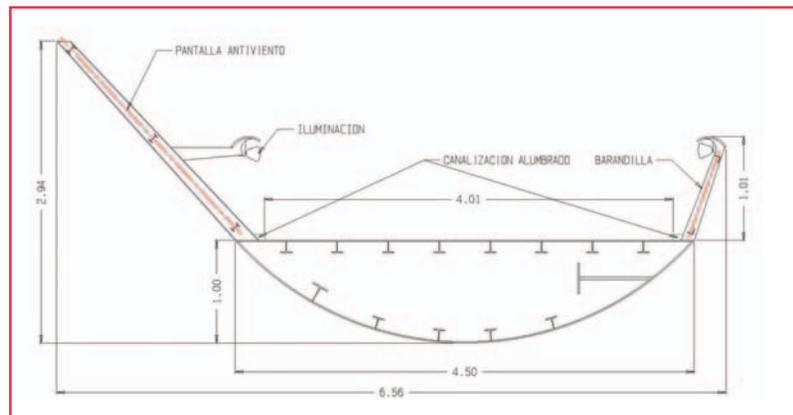


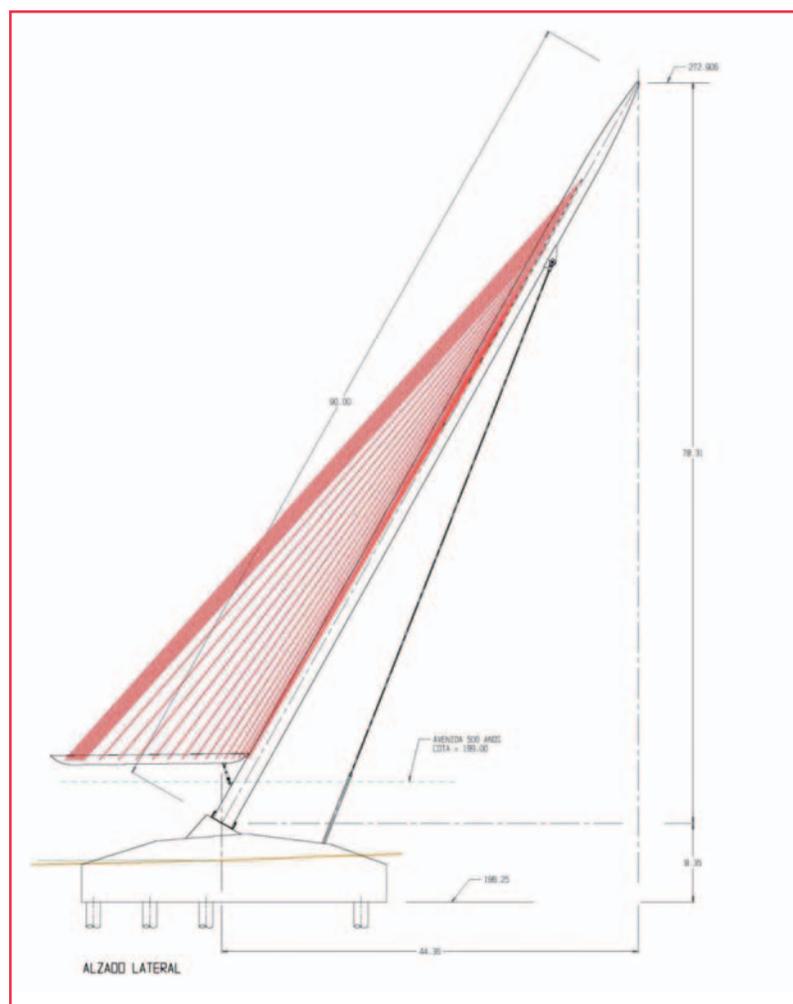
Fig. 9. Sección transversal del dintel en Zaragoza.

forma de coronas circulares a ambos lados de las orejetas. Fig. 10.

Los tirantes son de dos tipos:

- Tipo 1: 46 cables cerrados de los que cuelga el dintel con diámetros variables entre 31 mm. y 45 mm.

Fig. 10. Pila inclinada de cuelgo.



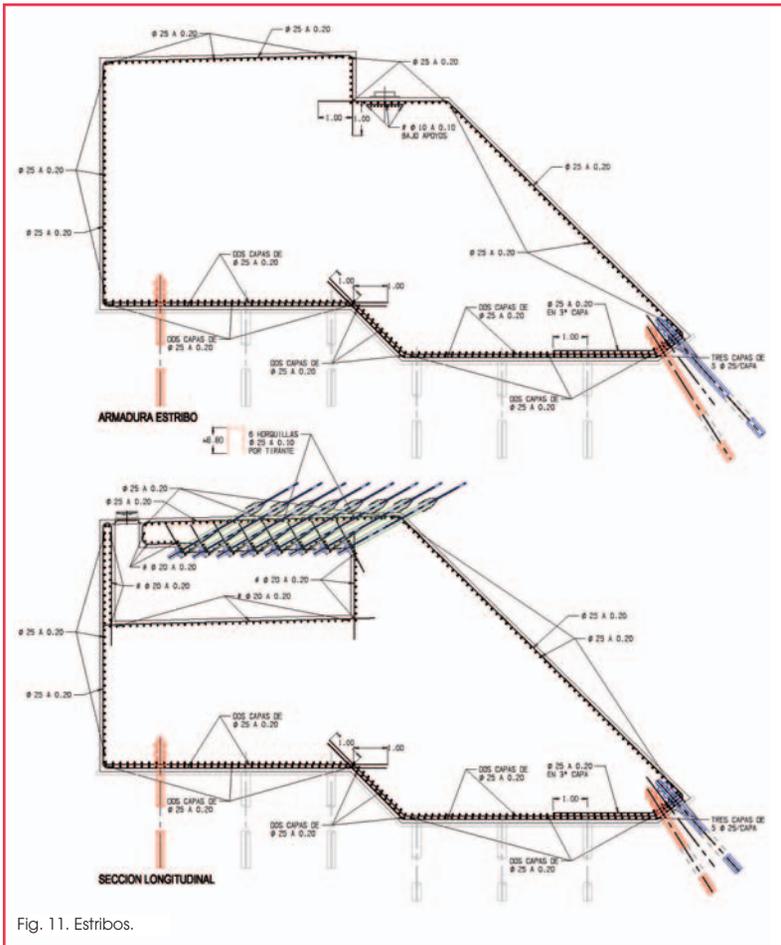


Fig. 11. Estribos.

Los primeros 8 tirantes, del T-1 al T-8 anclan en el estribo 1 y los demás en el tablero. No hay tirante en el estribo E-2

- Tipo 2: Se trata de dos tirantes que sostienen la torre para evitar su vuelco hacia delante. Su diámetro es de 120 mm y parten de la zona superior de la torre para anclarse en su propia cimentación.

Estribos

El dintel es un arco horizontal que se empotra en los estribos y se libera únicamente el giro de eje vertical. Este hecho determina la presencia de micropilotes inclinados y contrapeso trasero para estabilizar el tiro. Fig. 11.

Esta sujeción reduce mucho la flexión de eje vertical del dintel. A tal efecto la pasarela se prolonga por medio de dos chapas de 50 mm de 8 metros de longitud que quedan embebidas en el estribo, y verticalmente se ancla con un rastrillo de acero también embebido. Fig 12.

Los estribos son dos macizos de hormigón armado de 17,30 metros de longitud de sección irregular para adecuarse a las necesidades de la pasarela, y debido a que la cimentación es escalonada y a que la parte visible del estribo se ha diseñado inclinada para suavizar el efecto visual.

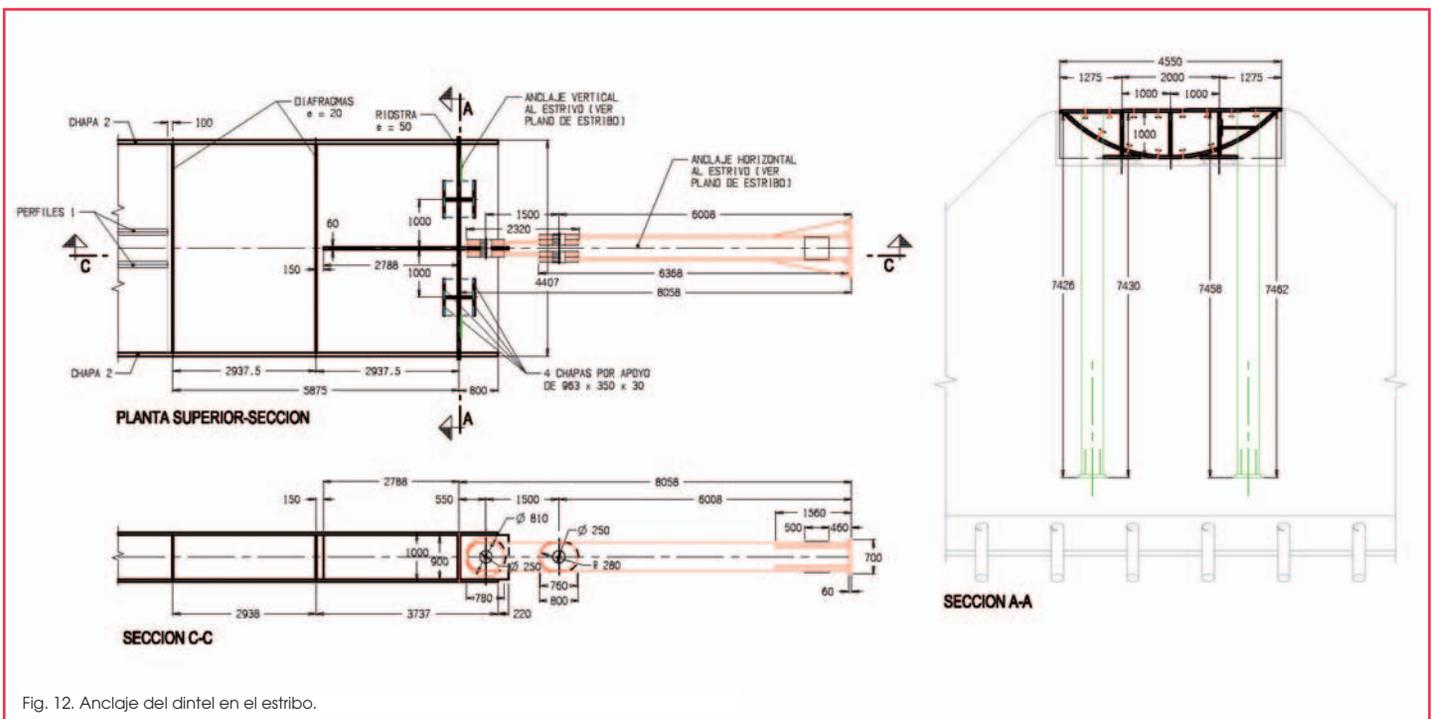


Fig. 12. Anclaje del dintel en el estribo.

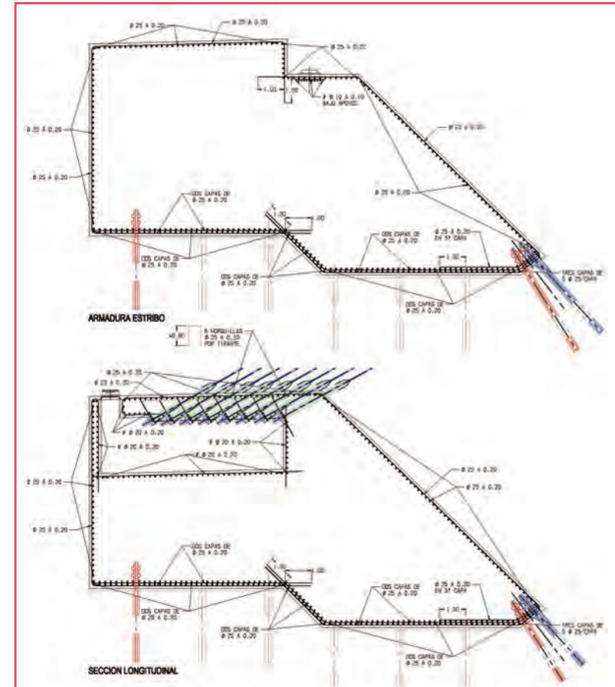


Fig. 11. Estribos.

Los primeros 8 tirantes, del T-1 al T-8 anclan en el estribo 1 y los demás en el tablero. No hay tirante en el estribo E-2

- Tipo 2: Se trata de dos tirantes que sostienen la torre para evitar su vuelco hacia delante. Su diámetro es de 120 mm y parten de la zona superior de la torre para anclarse en su propia cimentación.

Estribos

El dintel es un arco horizontal que se empotra en los estribos y se libera únicamente el giro de eje vertical. Este hecho determina la presencia de micropilotes inclinados y contrapeso trasero para estabilizar el tiro. Fig. 11.

Esta sujeción reduce mucho la flexión de eje vertical del dintel. A tal efecto la pasarela se prolonga por medio de dos chapas de 50 mm de 8 metros de longitud que quedan embebidas en el estribo, y verticalmente se ancla con un rastrillo de acero también embebido. Fig 12.

Los estribos son dos macizos de hormigón armado de 17,30 metros de longitud de sección irregular para adecuarse a las necesidades de la pasarela, y debido a que la cimentación es escalonada y a que la parte visible del estribo se ha diseñado inclinada para suavizar el efecto visual.

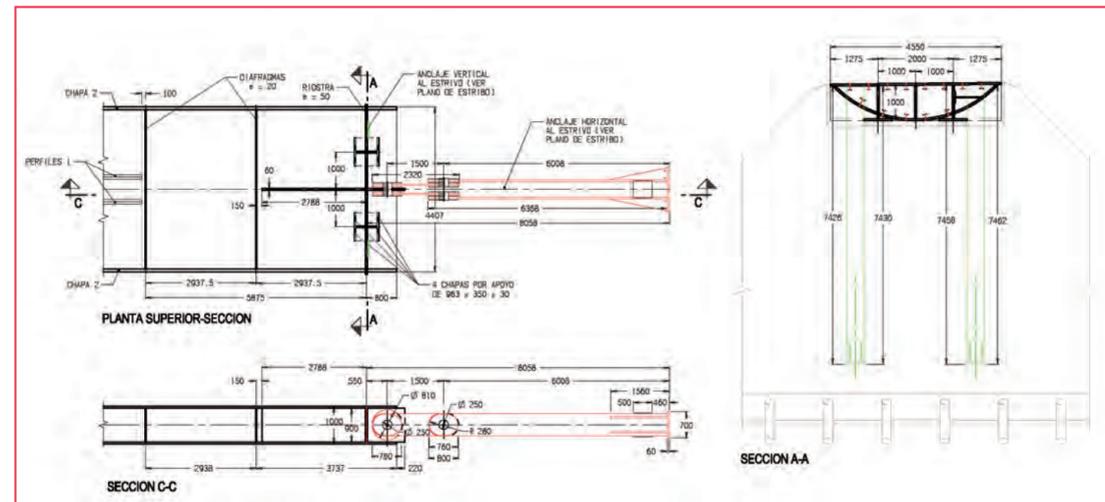
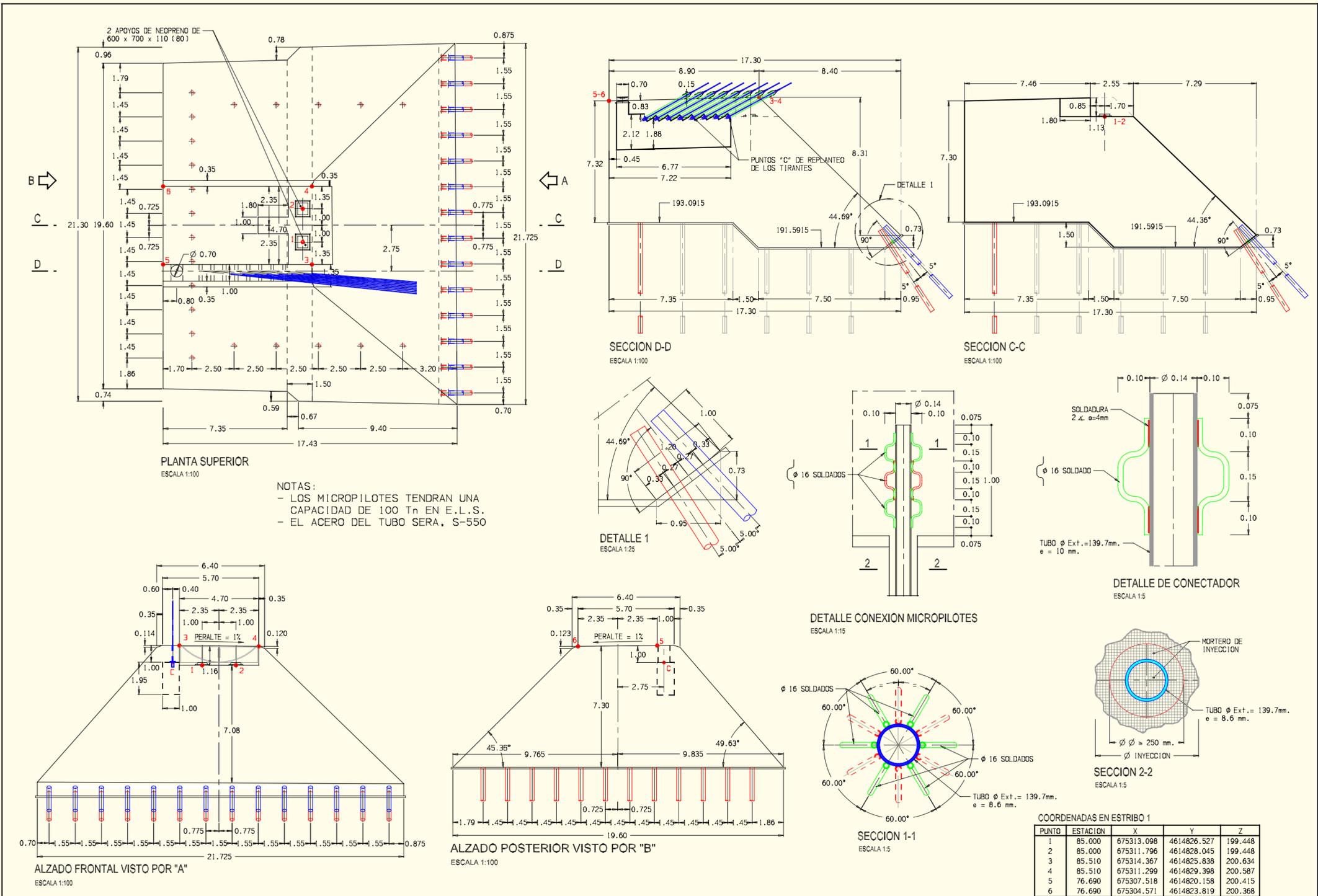
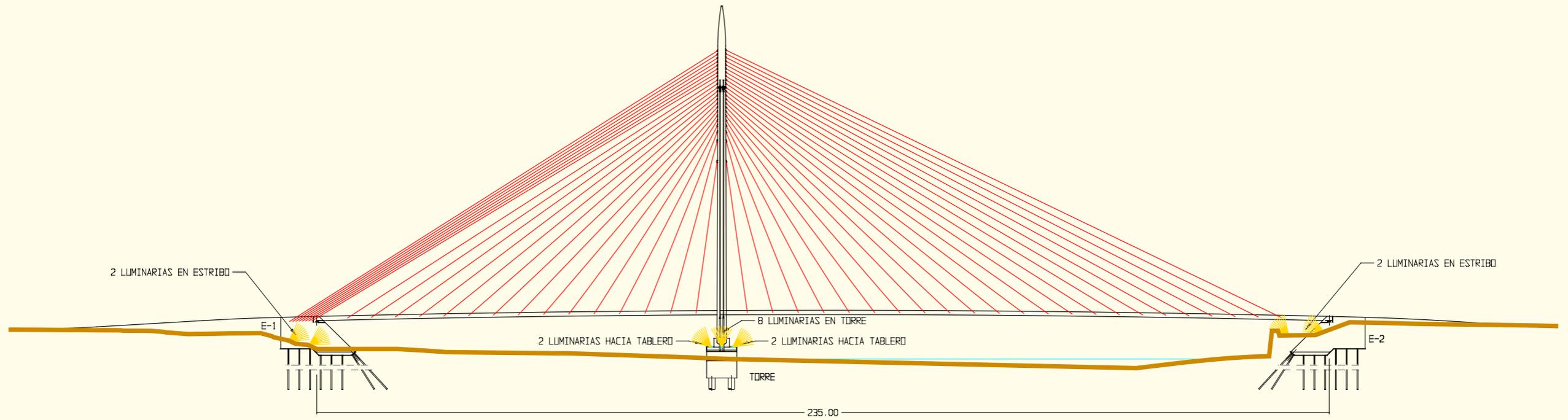
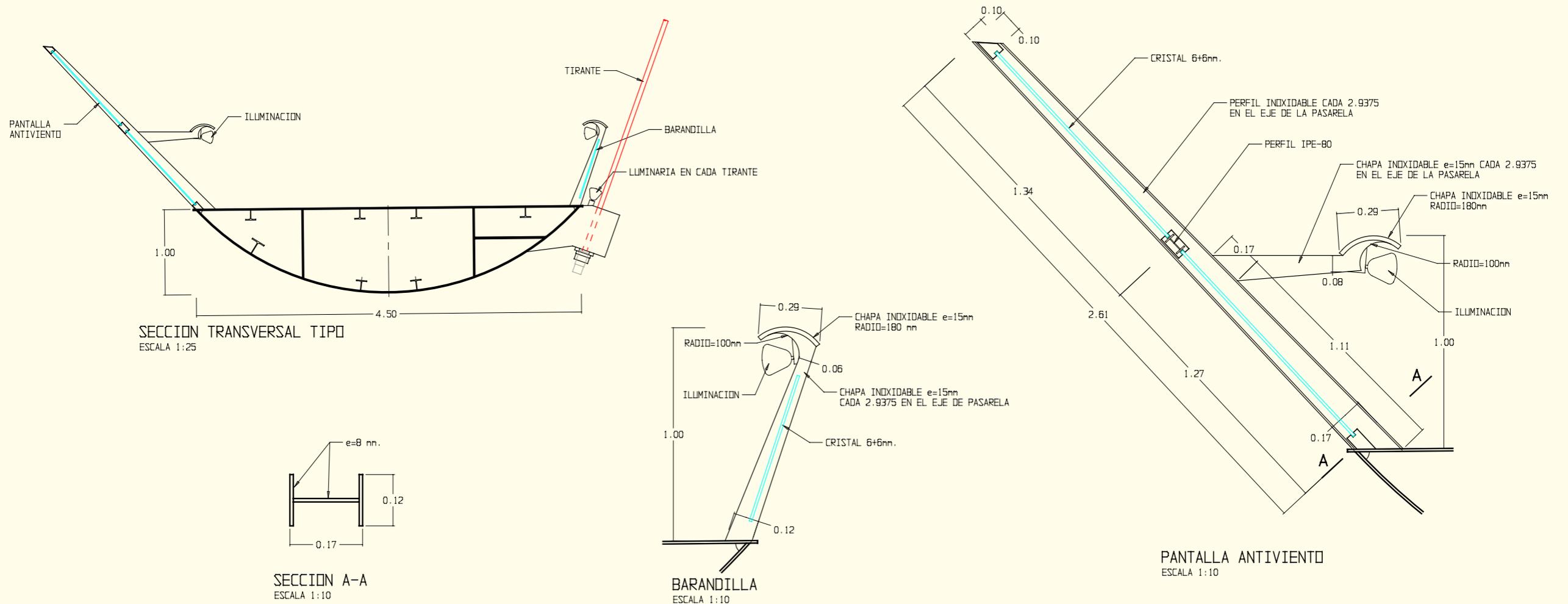


Fig. 12. Anclaje del dintel en el estribo.





ALZADO GENERAL (DESARROLLADO)
ESCALA 1:1000



SECCION TRANSVERSAL TIPO
ESCALA 1:25

SECCION A-A
ESCALA 1:10

BARANDILLA
ESCALA 1:10

PANTALLA ANTIVIENTO
ESCALA 1:10

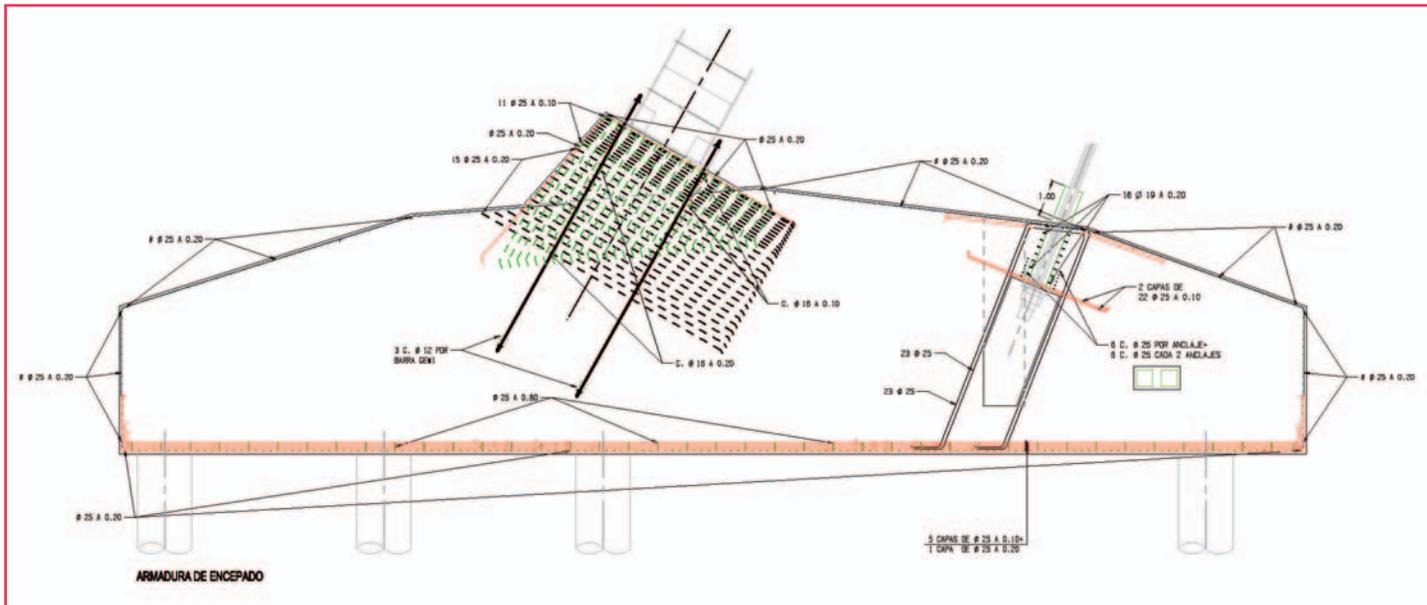


Fig. 13. Zapata de pila.

La cimentación se ha propuesto de micropilotes de 100 toneladas de capacidad portante. Las cargas se transmiten al terreno por medio de micropilotes de 100 toneladas de capacidad portante. Para soportar las cargas verticales se necesitan 84 micropilotes, y otros 28 ligeramente inclinados hacia el río para las horizontales.

La pasarela se apoya en los estribos a través de neoprenos zunchados.

En el estribo 1 es necesario disponer un alojamiento para el anclaje de los 8 tirantes que llegan a él.

Cimentación de la torre

Transmite las cargas al suelo por medio de 8 pilotes de 1,50 metros de diámetro. Fig. 13. El encepado es de grandes dimensiones ya que el brazo necesario es considerable para evitar el vuelco de la torre, se trata de un encepado rectangular de 32,50 metros de largo por 7 metros de ancho, canto variable entre 4 y 7,25 metros. Para conseguir que la pila arranque de la cimentación con la inclinación adecuada se dispone un tetón en la cara superior del encepado. En la zona de anclaje de los dos tirantes traseros se ha dejado una galería visitable desde la que se realizará el teso de los mismos y en un futuro servirá para inspección de los anclajes.

La sección inferior de la torre va soldada a una chapa base con forma de corona circular de 2,70 metros de diámetro y 60 mm de espesor, que se an-

clan al encepado por medio de 36 barras tipo gewi de 40 mm de diámetro y 7 metros de longitud. Fig. 14.

Detalles complementarios

El dintel dispone de una pantalla contra el viento, de cristal, de 2,61 m. de altura, colocada en el lado desde donde viene el viento predominante.

La iluminación de uso de los peatones se realiza desde fluorescentes continuos situados en el pasamanos de las barandillas. Toda la pasarela dispone de una iluminación ornamental. Un proyector por cable dirigido desde el dintel en dirección de cada uno de

Fig. 14. Anclaje de la torre en el cemento.



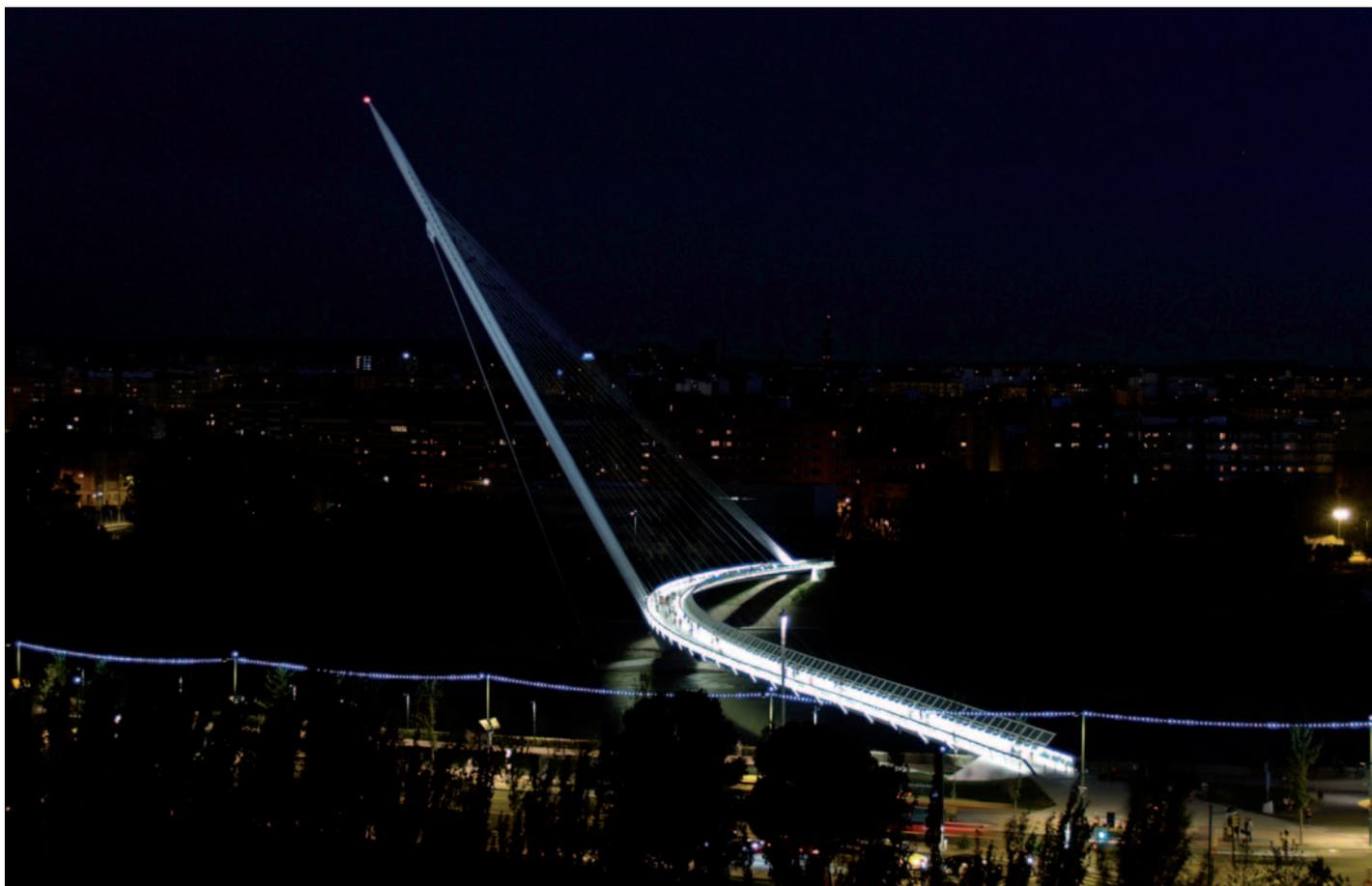


Fig. 15. Vista nocturna de la Pasarela.



Fig. 16. Construcción. Cimbrado del dintel.

los tirantes e iluminación inferior del dintel y de las pilas. Fig. 15.

Construcción

La construcción de la pasarela se ha propuesto apeada, utilizando cinco apoyos provisionales intermedios sobre el río y los tramos de avenidas. Estos apoyos provisionales sirven para sujeción del dintel, fabricado por trozos, mientras se suelda y se da la continuidad. La pila necesita un puntal provisional para sostenerla en posición antes de que se sujete con y a la pasarela. Fig 16.

Se coloca en primer lugar el dintel sobre los apoyos provisionales y se procede a su soldadura.

El dintel se ancla a los estribos.

Se disponen los tirantes tanto de pila como del dintel y se van poniendo en carga simultáneamente. Se eliminan finalmente los apoyos provisionales.

Para el cálculo de esfuerzos y deformaciones se ha adoptado un modelo espacial de barras, 150 nudos y 190 barras. Las cargas utilizadas son peso propio, carga muerta, asientos, cuatro sobrecargas de uso, ocho hipótesis de viento y cuatro de temperatura. Se han realizado las combinaciones pertinentes para obtener los esfuerzos más desfavorables para todas las barras en estado límite de servicio y de rotura.

Se ha realizado así mismo un cálculo dinámico para controlar el confort de paso de los usuarios.

Estudios previos

La pasarela construida no fue la solución a la primera idea que tuvimos sobre el tema. Planteamos inicialmente una solución más sofisticada pero cuyo coste era prácticamente el doble del coste previsto y con razón, tuvimos que abandonar la idea para ajustarnos a lo presupuestado inicialmente que es lo que finalmente costó la pasarela construida.

La idea fue la siguiente. El concepto viga es muy amplio y nosotros pensamos evitar las formas tradicionales para conseguir que además de resolver sus funciones normales, los de soporte de la plataforma de paso, satisficiera otras más. Si a una sección tradicional de pasarela formada por un tablero superior y dos vigas laterales se les da un giro de 90° tendremos una solución de viga que soporta bien la flexión, la torsión y cubre además la plataforma de uso

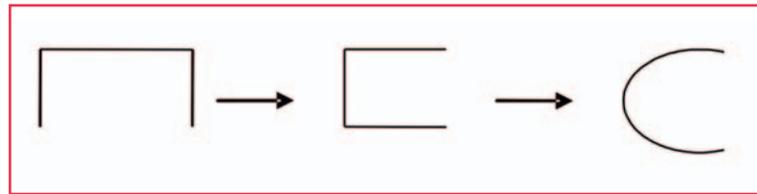


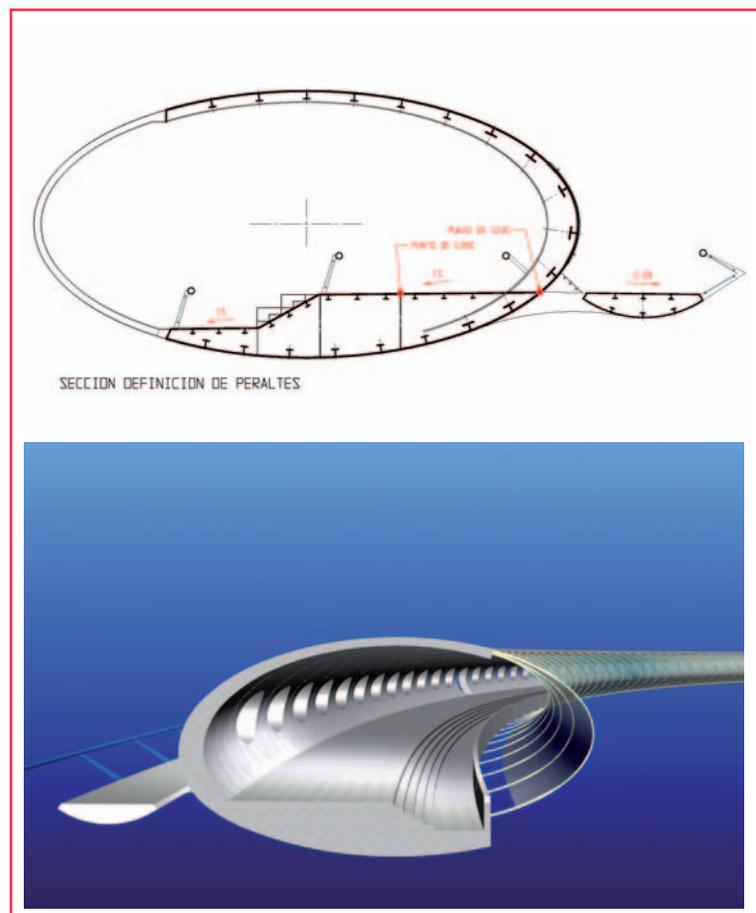
Fig. 17.

por los peatones si estos van por el interior de la viga. Fig. 17.

Pero no resulta necesario mantener la rigidez formal del rectángulo, la sección puede adoptar formas curvas como la elegida para este caso. Con este planteamiento resistente y formal se puede circular por el interior para mantener los peatones a cubierto, de sol, lluvia y tener una excelente visión de la Expo 2008. Además puede resistir perfectamente bien los 140 m. de luz, necesarios para cruzar el río sin apoyarse en su interior. Fig. 18.

Esta sección ovoidal se pliega perfectamente a la curva del trazado y para completar su adecuación funcional no hay sino que ponerle una plataforma ho-

Fig. 18.



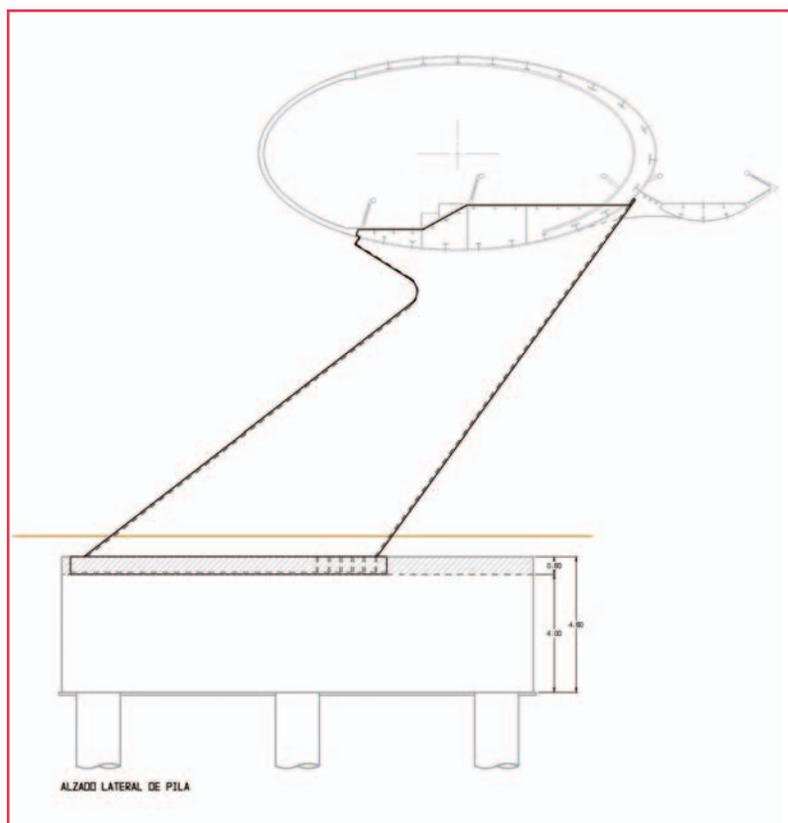


Fig. 19.

horizontal metálica, superpuesta al fondo del ovoide y dispuesta a dos niveles, el superior para circular y el inferior para sentarse y observar.

Debido a la presencia de vientos dominantes que llevan el sentido del río, se ha provisto a la pasarela de una protección de cristal que completa la forma de la elipse transversal.

Junto a esta disposición se dejan unos tragaluces circulares, de 2,0 m. de diámetro y separados entre sí 5,0 m. Se destinan para poder mirar al otro lado de la Expo, hacia Zaragoza. Estos orificios circulares no son perjudiciales, resistentemente hablando, pues aunque están situados en el alma de la viga e introducen deformaciones y esfuerzos locales, no son excesivas, aunque hay que tenerlas en cuenta. Se han reforzado con coronas de chapa tanto exterior como interiormente para reducir las tensiones de entalladura.

La sección transversal de la viga, tiene un canto de 6,6 m. una anchura total de 13,6 m. y una plataforma útil de paso de 8 m que se divide en dos plataformas, la superior de 4,6 m de anchura y la inferior de 2,00 m. Entre ellas se disponen una zona de asientos y una escalera.

La estructura resistente es como el fuselaje de un avión o un barco, una chapa exterior continua, un casco, de espesor variable según la zona, 50 mm., en la zona del apoyo y 20 mm. en la zona del vano, rigidizada por diafragmas transversales cada 2,5 m con sección en T. Sobre la pila, la rigidización transversal se incrementa, en lugar de una costilla cada 2,5 m se disponen 6 costillas separadas entre sí 0,475 m. Las cargas de la pasarela llegan a los estribos por medio de dos diafragmas exteriores metálicos formados por chapas de 50 mm de espesor cerrados por chapas de 15 mm de espesor. En la parte inferior se dispone una chapa de 60 mm por 1200 mm de anchura, la cual se apoya sobre apoyos de neopreno-teflón.

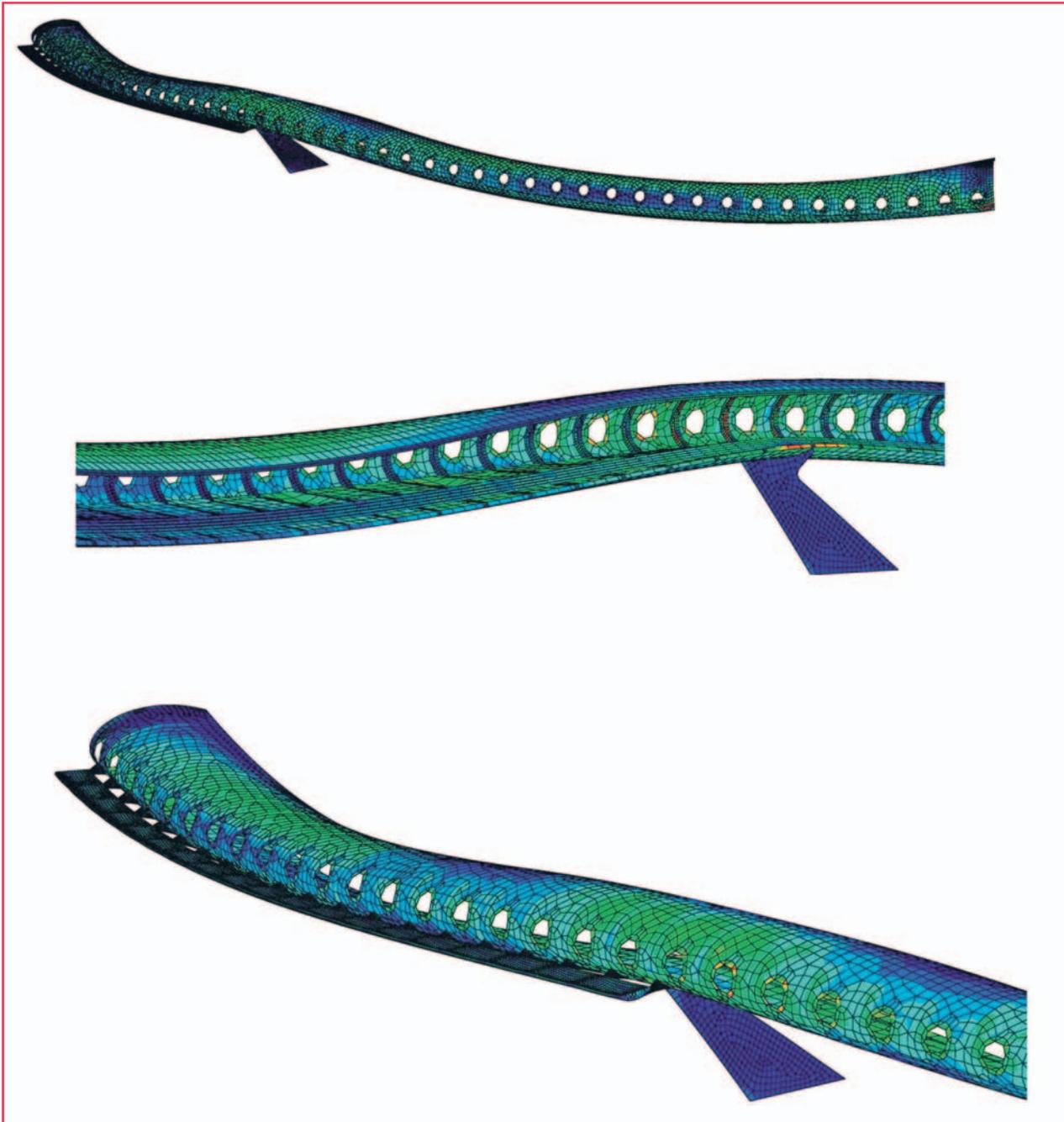
En el centro de la pasarela, a este tubo se le adosa una segunda plataforma de 30 metros de longitud, 15 metros a cada lado de la pila, y 2,8 m. de anchura a la que se accede por dos puertas que no son sino la prolongación hasta el suelo de dos ventanas, y sirve para asomarse si se desea al exterior con vistas a la ciudad de Zaragoza. Este mirador va colgado del cuerpo principal de la pasarela por medio de costillas con la misma cadencia que los diafragmas transversales de sección en I.

La única pila que soporta la pasarela está en la orilla del río y tiene una forma inclinada. Está constituida por una viga cajón de 1,6 m. de anchura y chapas de 50 mm cuyas caras laterales son prolongación de dos de las costillas transversales. Fig. 19.

El cálculo de esta solución fue extremadamente sofisticado, utilizando el programa ABAQUS en una discretización total por elementos finitos con diafragmas transversales, rigidización longitudinal y orificios circulares incluidos, con el fin de controlar con toda precisión la deformación total, longitudinal y transversal. El modelo de barras habitual en el cálculo de puentes viga no era válido en este caso ya que al tratarse de una sección abierta para una viga con fuertes torsiones era necesario un modelo de barras cuya formulación tuviera en cuenta la torsión no uniforme. Con el modelo de elementos lámina este problema se recoge perfectamente, especialmente en el caso de una estructura totalmente metálica.

En el mismo modelo se estudió el la abolladura de los paneles metálicos, obteniendo los modos de abolladura introduciendo imperfecciones y llevando los paneles a rotura. En la Fig 20 representamos las deformaciones de la malla de elementos finitos completa en la hipótesis de sobrecarga completa

Fig. 20.



en toda la pasarela, así como dos detalles interior y exterior en los que se aprecian las variaciones de tensiones de Von Mises para esa hipótesis.

Además se realizaron otros dos modelos para contrastar los resultados obtenidos, uno de barras como puente viga, y otro de barras como lámina plegada, con 4 ejes longitudinales unidos por barras transversales que tenían en cuenta la deformación por cortante introducida por las aberturas en el al-

ma y la falta de planeidad de la sección. Las diferencias fundamentales observadas entre los resultados de los tres modelos fueron las deformaciones.

Interior y exteriormente esta pasarela se carenaba para obtener superficies con la máxima calidad. Para el exterior se propusieron dos materiales, de acabado de color brillante y alta durabilidad; paneles de aluminio lacado y paneles de materiales compuestos provistos de las correspondientes capas de

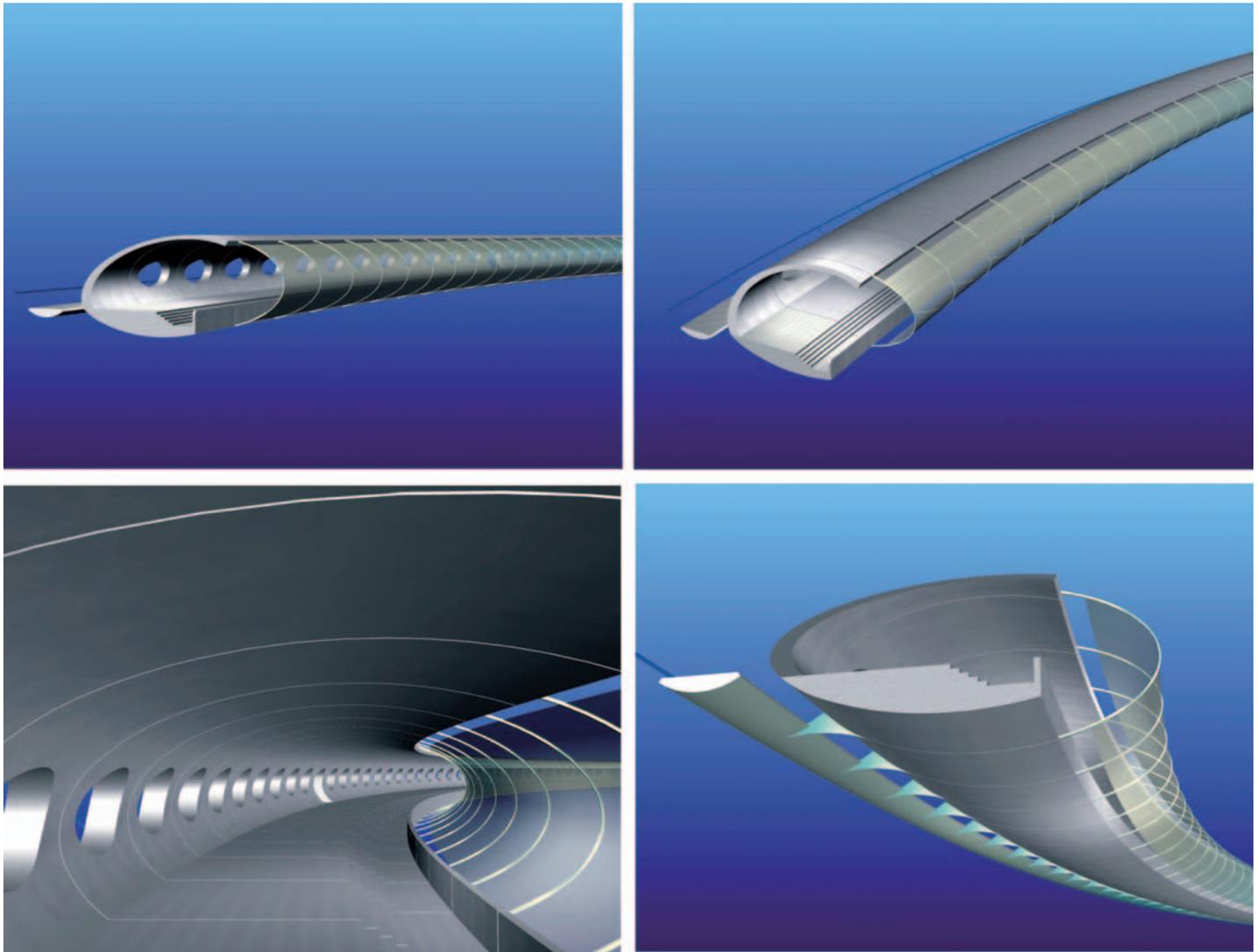


Fig. 21.

aislamiento térmico. En dicho recubrimiento se resolvían las ventanas y las puertas de manera que existiera un resalto que las marcara a modo de ojos de buey.

Interiormente se disponían líneas de luz indirecta con tubos fluorescentes, ocultando las luminarias en los rigidizadores longitudinales y recubriendo toda la sección con paneles de vidrio de seguridad translúcido y se pintaba la chapa interior resistente de blanco, para conseguir una buena reflexión de la luz. El acristalamiento que completaba la elipse era del mismo vidrio de seguridad pero transparente. Fig 21.

La iluminación de la pasarela se completaba con líneas de luz fluorescente en las barandillas y leds incrustados en la plataforma.

La construcción de la pasarela se planteó en primer lugar mediante empuje del tablero, dado que el trazado lo hacía factible, pero finalmente se decidió calcularla construyéndola por tramos, apeada en penínsulas artificiales.

El proyecto fue desechado por su presupuesto, era inasumible por la propiedad. Era una pasarela innecesariamente ancha y los recubrimientos exteriores, para obtener pinturas y acabados perfectos, resultaban excesivamente caros. Sobre pasaba con mucho el presupuesto disponible.

La Administración nos pidió realizar otra solución que es la que finalmente se va a construir con un coste mitad que la que acabamos de describir. ♦