

Río textil sobre la calle de participantes en la EXPO 2008 de Zaragoza

Textile river on the participants street in the EXPO Zaragoza 2008

F. Escrig*, L. Sánchez*, M. Ponce*

RESUMEN

La arquitectura textil ofrece unas posibilidades para resolver problemas urbanos que ningún otro tipo permite. Para la EXPO 2008 en Zaragoza (España) diseñamos una pieza de 400 m de longitud que ha resultado ser uno de los atractivos de la muestra. Consiste en trece módulos de superficie tórica que serpentea a 17 m de altura tomando el aspecto de un río. Técnicamente hace algunas aportaciones en geometría estructural que se describen y, artísticamente, destaca por su decoración formal.

151-43

Palabras clave: estructuras tensadas, arquitectura urbana, patronear, formfinding.

0. INTRODUCCIÓN

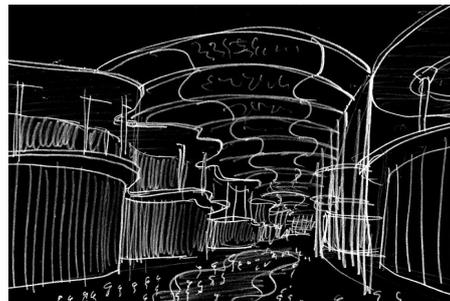
Con objeto de sombrear la calle de participantes de la EXPO 2008 de Zaragoza se planteó disponer una cubierta parcial a lo largo de los 500 m de recorrido que ésta tiene de tal modo que no interfiriera en la vista que los pabellones tienen sobre la vía ni sobre el trayecto donde se desarrollarán actividades de índole muy diversa.

El encargo en sí no hubiera revestido mayor problema de no ser porque no podían realizarse anclajes en los edificios existentes al no estar dimensionados para ello. Tampoco podíamos realizar anclajes en la vía pública puesto que allí se desarrollarían actividades que no podían ser entorpecidas por la existencia de cables. La solución arquitectónica y estructural debía ser autoestable a efectos de acciones horizontales ya que sólo podíamos recoger sobre el edificio de pabellones las reacciones verticales. Estas limitaciones forzaron sobremanera las condiciones del diseño final, al que se llegó por dos caminos: uno, conceptual, que consistía en dotar de

SUMMARY

Tensile fabric structures offer possibilities for the solution of urban problems which no other type of structure permits. In the Expo Zaragoza 2008 site (Saragossa, Spain) we have designed a 400 metre-long structure that has turned out to be one of leading attractions of the event. It consists of thirteen pieces of torical surface that twist and turn at a height of 17 metres, taking on the appearance of a river. Technically, it includes some advances in structural geometry that are described in this paper. Artistically, it stands out due to its formal decoration.

Keywords: tensile structures, urban architecture, skipper, formfinding.



1.- Boceto inicial de la solución elegida.

imagen simbólica el proyecto, y otro, estructural, por el que buscábamos posibles formas que resolvieran internamente sus esfuerzos y los convirtieran exclusivamente en acciones verticales.

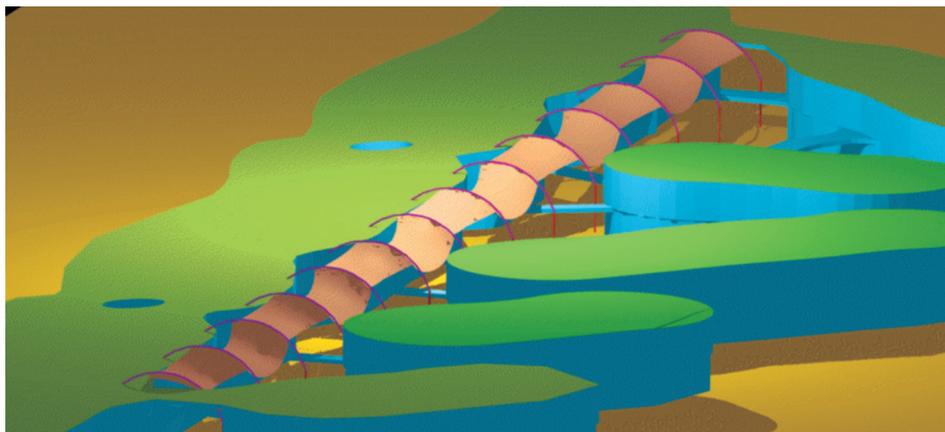
La idea de concepto consistió en aprovechar el "leitmotiv" de la propia exposición basada en el agua y construir un río que discurriera por lo alto de la calle y en su sombra sobre el pavimento. Nos proponíamos representar simbólicamente el propio río de Zaragoza (Figura 1). La idea estructural se basaba en encontrar un sistema autotensado que resol-

*Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla (ETSA), España

Persona de contacto/Corresponding author: josess@us.es (L. Sánchez)

2.- Primeros montajes virtuales del proyecto.

3.- Diseño gráfico concebido por el artista Isidro Ferrer.



2

quiera los esfuerzos internamente y que sólo transmitiera al exterior el equilibrio de las acciones consideradas: gravitatorias, nieve y viento. Pensamos que un diseño modular ayudaría en la solución de todos los problemas y se propusieron módulos de 32 x 24 m, en los cuales el textil ocuparía una parte central de 14 x 32 m. Para que la repetición de 13 de estos módulos no resultara monótona se colocaron de forma que curvaran como si de un cauce serpenteante se tratara (Figura 2).

Para concluir con la idea, la cubierta textil está decorada con unos patrones artísticos dentro de lo que conocemos como una obra plástica que mezcla técnica y diseño, según se verá en las imágenes de acabado. Queríamos que un alarde arquitectónico estuviera complementado con el diseño de uno de los artistas más importantes del país, en este caso Isidro Ferrer (Figura 3).

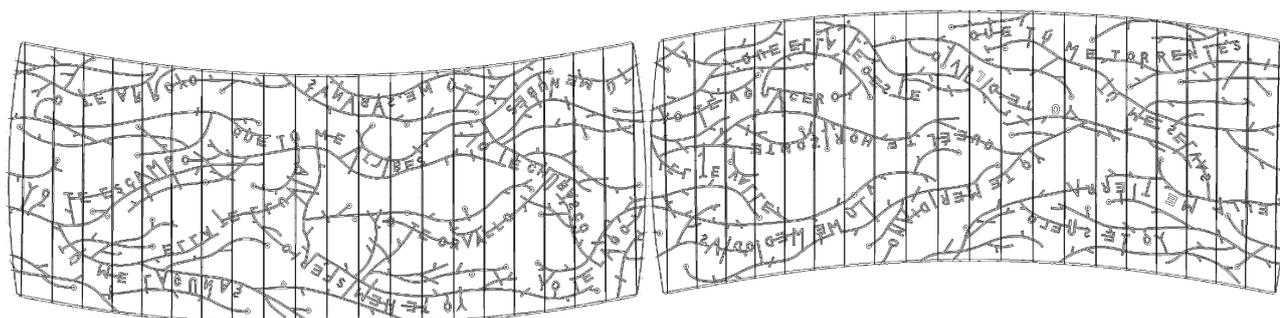
1. ESQUEMA ESTRUCTURAL

El principal reto que se planteaba era el de conseguir un soporte para las superficies textiles capaz de funcionar en régimen de autotensión, es decir, con transmisión exclusiva de componentes de reacción vertical. Las reacciones horizontales propias de arcos y estructuras estribadas se evitaron con una disposición como la de la figura anterior,

en donde unos arcos formados por perfiles metálicos tubulares estarían estabilizados a base de tirantes por la parte superior del arco y por la parte inferior. Precisamente la introducción de un tirante superior es la aportación de este proyecto, ya que un arco se considera estable cuando no puede abrirse por empuje horizontal hacia el exterior y, en nuestro caso, hemos conseguido que tampoco pueda cerrarse hacia el interior. El tirante inferior funciona cuando las cargas son de presión y el tirante superior cuando son de succión (Figura 4). Una sucesión de catorce arcos separados 32 m entre sí deja trece espacios entre los que tensar unas cubiertas modulares diseñadas para verse y utilizarse como un dosel continuo sobre la calle.

Las superficies textiles utilizadas son porciones de geometría tórica (la cara interior de una rosquilla) con 14 m de anchura y los 32 m de longitud citados. Los trozos utilizados están limitados por dos planos verticales y dos curvas de proyección circular, tal como se indica en la figura anterior.

Para sostener los bordes curvados del textil se colocaron unos cables exteriores que son los fundamentales del conjunto y que dan estabilidad a todo, ya que entre los arcos autotensados y estos cables de borde o "relingas" se estira una malla



3



4.- Dibujo sobre un patrón que se repetirá en toda la calle.

5.- Mástiles exentos.

6.- Articulación en la base de los mástiles.

7.- Coronación de los mástiles.

4



5

textil altamente resistente que define el conjunto. Para completarlo existe otra serie de cables y varillas fundamentales en el funcionamiento pero apenas perceptibles visualmente y que también se aprecian en la imagen anterior

2. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

2.1. Los mástiles

A lo largo del eje, el modo de sustentación de los arcos es diferente a la derecha y a la izquierda. En un caso, anclan sobre la cubierta y, en el otro, en mástiles de 17 m de altura (Figura 5). Estos mástiles son de sección variable y articulados en su base para que puedan absorber los movimientos propios de estas estructuras ligeras (Figura 6). En la cabeza los arcos y los mástiles están empotrados, más por facilidad constructiva que por necesidad de transmitir esfuerzos, ya que éstos serán tan sólo verticales (Figura 7).



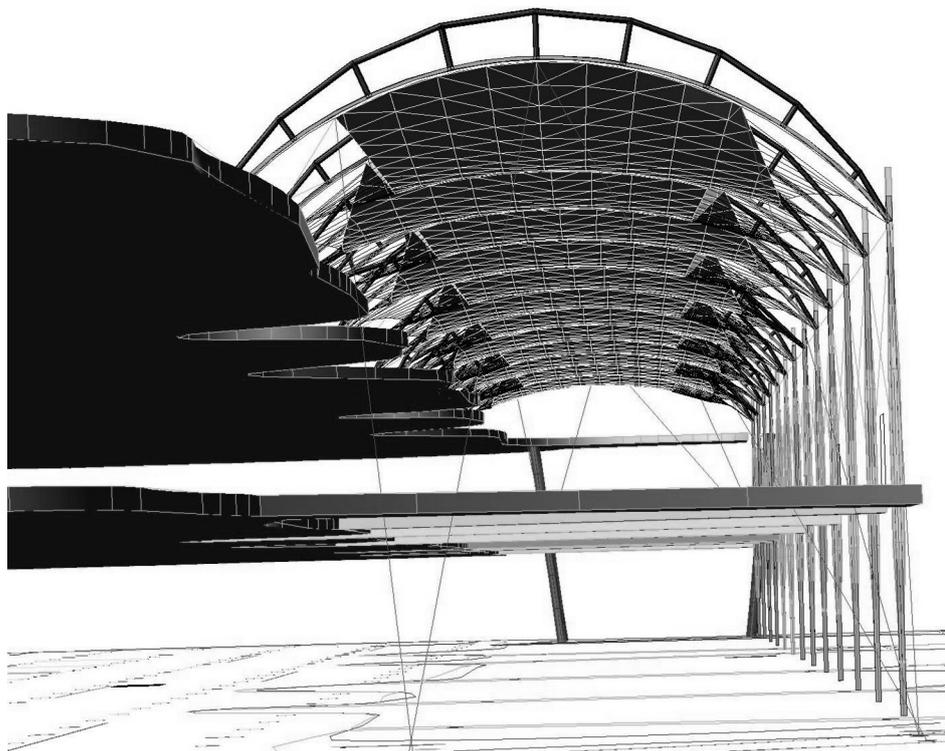
6



7

8.- Montaje final del proyecto con sus arriostramientos.

9-10.- Apoyos de los arcos en la cubierta del edificio de participantes.



8

La estabilidad horizontal de los mástiles está asegurada en la dirección longitudinal por cables diagonales que impiden su vuelco, y, en el sentido transversal, por los propios arcos definidos anteriormente (Figura 8).

2.2. Los apoyos en cubierta

En cubierta los arcos apoyan directamente sobre el forjado pretensado en los puntos en que hay un soporte de hormigón debajo, directamente (Figura 9) o a través de un durmiente (Figura 10) ya que en estos puntos nos encontramos con las cabezas de pretensado del forjado de hormigón. Estos apoyos están dimensionados para absorber exclusivamente cargas verticales y sólo eventualmente pequeñas acciones horizontales.

2.3. Los arcos

Los arcos atirantados por sus caras inferior con un tirante y superior con una peineta



9

se han construido en base a una poligonal de tubo rectangular #400x200 mm al que se vinculan elementos de conexión de la malla textil y de los cables de relinga y arriostramiento. Por la forma en planta de los edificios no todos los arcos son iguales pues los hay de dos tipos, unos de 24 m de luz y otros de 32 m. y todos con la misma altura de 6 m (Figura 11).

2.4. Los cables de borde y las relingas

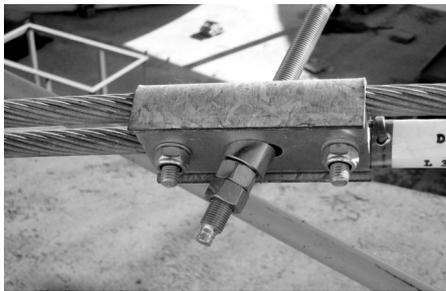
Para poder tensar los bordes del textil se ha creado una sucesión de cables paralelos que anclan en el un elemento de borde formado por dos cables paralelos en curva parabólica mediante soluciones constructivas como las que se ilustran en la Figura 12. En general en nuestros diseños procuramos que el sistema sea autoestable incluso en ausencia de los elementos textiles, de modo que el fallo estructural de un paño textil no implique el colapso de los elementos rígidos.



10



11



12



13

2.5. Los cables de anclaje de los extremos

Todo lo que hemos comentado acerca del sistema autotensado funciona en módulos interiores pero no en todos los aspectos de los de cabecera y finalización, pues aquí hay fuerzas horizontales que sólo pueden absorberse mediante anclajes a puntos fijos con transmisión de fuertes componentes horizontales. Para resolver este problema de equilibrio lanzamos cables inclinados hasta puntos fijos de la cimentación tal como se ilustra en la Figura 13. Hemos ido a anclar en lugares en donde ya había otro tipo de soportes para no aumentar el número de obstáculos de la calle. Por otra parte, como las acciones de estos cables son de tracción mejoramos el comportamiento de la cimentación de estos puntos que soportan las cargas de las pasarelas de tránsito entre pabellones.

2.6. El textil estructural

El papel de la cubierta de sombra no es exclusivamente funcional sino parte importante del funcionamiento de la estructura.

Cuando instalamos los módulos textiles alcanzamos el equilibrio total de esfuerzos y ningún elemento es superfluo o prescindible. Sin embargo, hay que tener en cuenta en este tipo de arquitectura en tracción algunas consideraciones que es bueno resaltar como principios de diseño:

1. Pese a su alta resistencia en tracción, los textiles tienen muy poca resistencia al rasgado y las roturas suelen producirse por las uniones. Cuando esto ocurre la estabilidad sólo se pierde entre cables y el resto permanece en pie y normalmente en buen estado.
2. Las mallas textiles se diseñan de tal modo que se autoequilibren en ausencia del propio textil, es decir, que su ausencia no implique ni caída de cables ni desplome de elementos rígidos.
3. Las estructuras modulares de este tipo tienen que seguir funcionando aun en ausencia de un módulo, sea éste interior o exterior.
4. La estabilidad de estas estructuras se basa en que antes de que empiecen a introducirse acciones exteriores están en un estado de fuerte tensión interna que denominamos pretensado.
5. Las acciones externas, fundamentalmente de viento, pueden actuar de modo distinto sobre cada elemento en cada momento.
6. Las acciones de viento concentran su energía por rachas y, por tanto, son dinámicas de periodos muy largos, entre 0,5 y 2 segundos, lo que significa que sus movimientos son visibles y, a la vez, inquietantes. Cuanto mayor sea

11.- Aspecto del conjunto visto desde la cubierta del edificio de participantes.

12.- Relinga doble para tensado del textil.

13.- Anclajes en el pavimento.

14-15.- Soluciones de apoyo de los arcos en mástil y en cubierta.

16.- Vista general de una relinga de borde longitudinal.

17.- Cable tensor del arco y solución de tensado.

el pretensado inicial de estabilización del conjunto menor será el periodo de vibración.

7. Las formas que pueden funcionar para este tipo de cubiertas son alabeadas y, por tanto, no desarrollables. Esto significa que no pueden construirse a partir de superficies planas salvo que se patroneen de forma adecuada. En nuestro caso hemos optado por un patronado de tipo transversal que aprovecha al máximo el ancho de bobina comercial.

Todos estos aspectos han sido considerados en la composición constructiva y estructural de esta cubierta.

2.7. Los detalles constructivos

Además de los ya mostrados, en las Figuras 14 y 15 pueden verse los encuentros claves de la solución global. En general, los detalles constructivos de este tipo de cubiertas están muy estudiados y acudimos a soluciones conocidas, pero siempre es necesario un cierto grado de innovación. Así, las relingas se resuelven con cables dobles para tensar los cables que tensan, a su vez, el textil (Figura 16), los tensores superiores de los arcos se resuelven tramo a tramo, mediante una tuerca en cada extremo (Figura 17).

2.8. El montaje

Uno de los aspectos más importantes de un proyecto de cubierta textil es programar la secuencia de montaje y tensado. En este caso hemos optado por tensar con carácter previo toda la malla metálica, a excepción de la que depende de la existencia del textil. Luego, el textil ha podido colocarse y tensarse módulo a módulo, facilitando sobremedida la construcción. Además ha habido que trabajar en un espacio lleno de obstáculos y sin prioridad en el montaje sobre otras obras de la calle (Figuras 18 y 19).

2.9. El tensado y retensado

Una vez terminado el montaje es necesario proceder a un tensado y retensado hasta que todos los elementos alcancen su tensión nominal de diseño. Esto es difícil de comprobar en los cables y más todavía en las superficies. Las técnicas mecanizadas que existen para ello son poco fiables y es mejor actuar por aproximación a partir de las reacciones ya que, en ausencia de acciones externas, el resultado global plantea un equilibrio fácil de comprobar en ellas. Normalmente la fuerza aplicada en los tensores de los extremos determina lo que sucede en el interior en ausencia de viento. Por ello, si comprobamos las reacciones en los pocos cables de anclaje que tenemos en



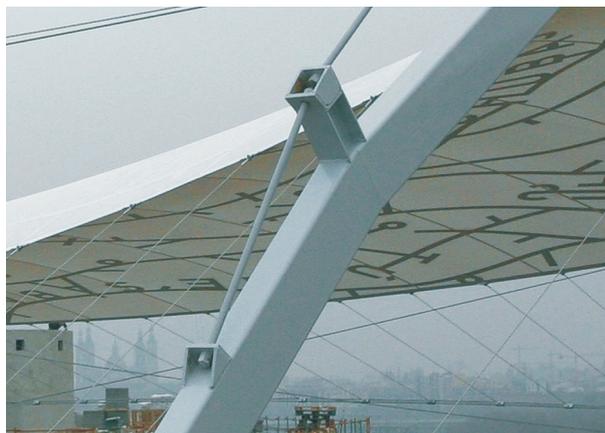
14



15



16



17



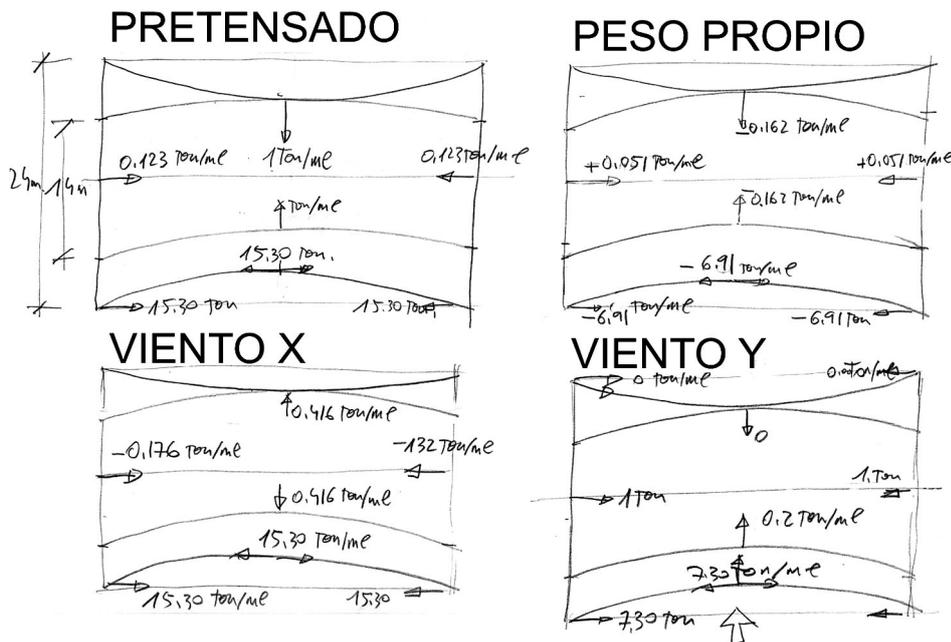
18



19

18-19.- Montaje de los paños.

20.- Tabla de esfuerzos obtenidos para distintas acciones.



20

el exterior podremos aproximarnos a lo que le sucede al conjunto.

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis de esta estructura es bastante complejo por su extensión y por la naturaleza de sus elementos. Por otra parte es difícil evaluar las acciones y la simultaneidad de su actuación. Es por ello que hemos considerado el cálculo por separado de los elementos textiles y de los metálicos. De este modo, las superficies, junto con sus elementos de borde, se han analizado con el programa SAP2000 para obtener unos esfuerzos genéricos que se indican en la Figura 20, mientras que los elementos soporte se han dimensionado con las reacciones anteriores a fin de obtener unos esfuerzos y unas reacciones que han servido para dimensionar el conjunto. Sin entrar en más valoraciones, las acciones que se han considerado son cargas de viento cuando éste actúa a 100 km/h, no

teniéndose en cuenta la la nieve ya que esta cubierta sólo se utilizará en los tres meses que dura la EXPO 2008.

Con posterioridad a la construcción se han medido velocidades de viento de hasta 90 km/h sin que se hayan apreciado alteraciones en la estructura, lo cual ha servido como ratificación de la bondad del diseño.

4. NOTAS FINALES

Los autores del proyecto agradecen a la organización EXPO 2008 (<http://www.expozaragoza2008.es>) las facilidades que han dado para la puesta en marcha de este proyecto, a la empresa IASO (<http://www.iaso.es>) por la calidad de sus servicios, la constante ayuda en la definición de un proyecto que tenía que pasar del papel a la realidad, a la empresa PERFORMANCE IDEA Y APLICACIONES (<http://www.performance-starbooks.com>) que dispuso los apoyos informáticos para concluir

el dimensionado, a la UNIVERSIDAD DE SEVILLA (<http://www.mmc.us.es>), que ha permitido desarrollar la idea en el marco de un programa de investigación y al diseñador ISIDRO FERRER <http://www.isidroferrer.es/>

que con su propuesta ha convertido una estructura en una obra de arte. El resultado final se puede ver en las Figuras 21, 22, 23 y 24.



21

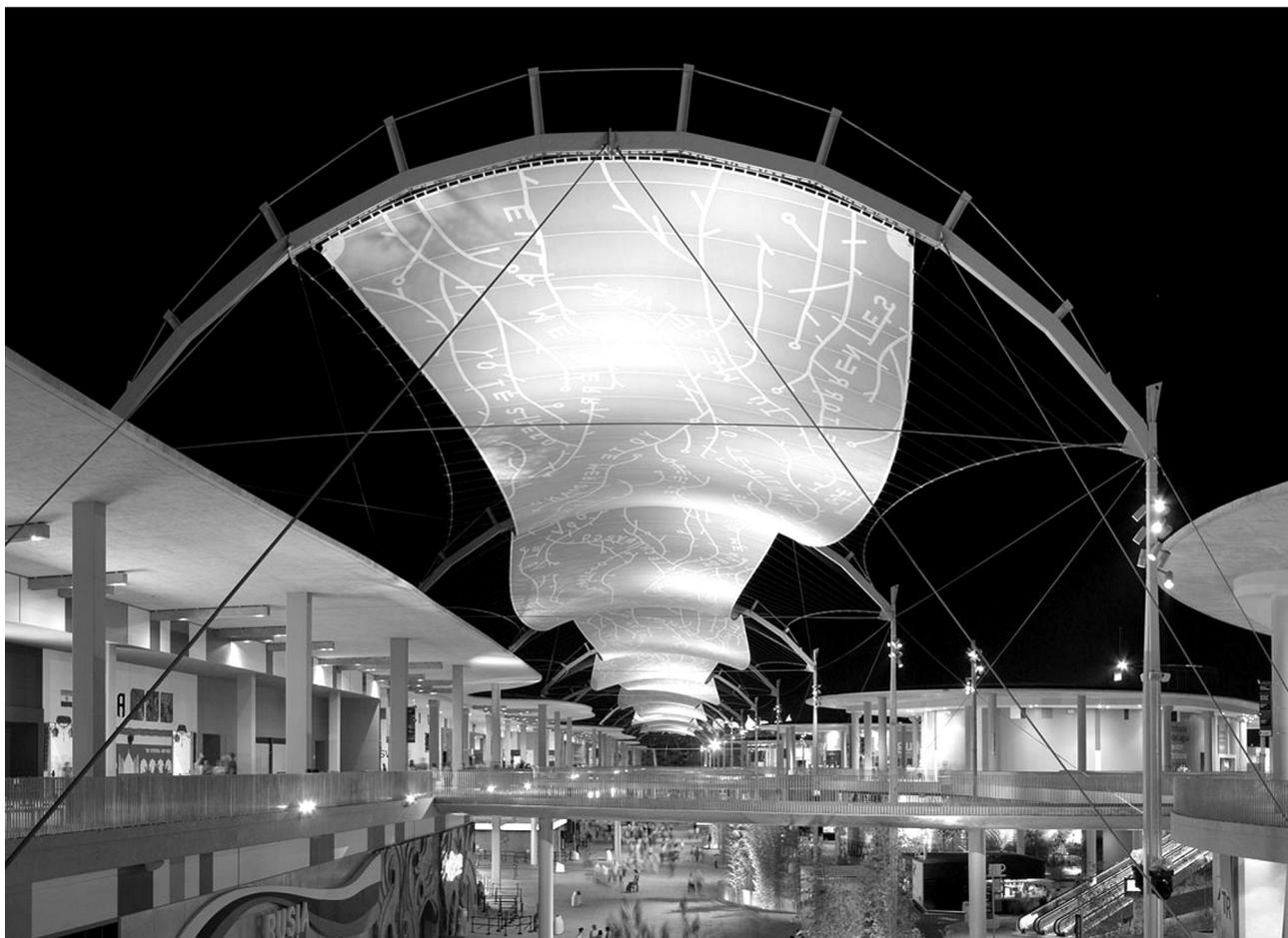


22



23

21-25.- Montaje final de la cubierta terminada.



24



25

REFERENCIAS

- (1) Escrig, F, Sánchez, J. y Llorens, J. I.: STAR Structural Architecture nº. 5. Universidad de Sevilla 1996 (star@us.es). ISSN 1137-201X.
- (2) Escrig, F.; Sánchez, J.: STAR Structural Architecture nº. 6 Universidad de Sevilla 1996 (star@us.es). ISSN 1137-201X.
- (3) Forster, B.; Mollaert, M.: European Design Guide for Tensile Surface Structures. Tensinet 2004. Bruselas (marijke.mollaert@vub.ac.be). ISBN 90 8086 871X.
- (4) Escrig, F.; Sánchez, J.: La construcción del Velódromo de Dos Hermanas, Sevilla. Informes de la Construcción, nº 508 (octubre-diciembre 2007). ISSN: 0020-0883.

* * *