



TEXTILE ROOFS DETAILING HANDBOOK

*Atlas de detalles de la
construcción textil*

Home

II Simposio

Ponencias

Organización

Josep Llorens, Dr. in Architecture

Department of Architectural Technology
School of Architecture of Barcelona
Technical University of Catalunya (UPC), Spain
ignasi.llorens@upc.edu
<http://www.upc.edu/ca/1/cat/recerca/tensilestruc/portada.html>

Detailing in fabric membrane architecture is not yet a well-established, thoroughly documented and widespread practice. Nevertheless, choosing, designing and evaluating connections and joints is critical to the overall concept and the resulting structure. To close this information gap, a collection of details grouped by type is presented herein, together with the structures they belong to. In order for one to come to a complete understanding of them, we also explain the principles behind their design and the suitability criteria that were utilised.

Contents:

1. Foreword
2. Introduction
3. Design principles: visual expression, structural requirements, geometry, climate, environment and installation process.
4. Typology and examples: seams, edges, ridges, valleys, corners, high points, low points, base plates and anchors
5. Selected works
6. Handbook of cables and fittings
7. Links
8. Bibliography

The first part focuses on design principles that readers should keep in mind when designing or evaluating different solutions. In the second part, the typology is explained by means of examples taken from selected works that are summarized to provide the context behind the details. As in the "Architects' Journal Working Details" presentation, it must be emphasized that the "Textile Roofs Detailing Handbook" does not intend to provide designers with cribs or working solutions. Each drawing and picture solely indicates a particular stage of a design problem. Readers are invited to continue the process by refining or modifying them.

INTRODUCCIÓN

La construcción textil de cubiertas se ha desarrollado considerablemente durante la segunda mitad del siglo XX, hasta el punto de resolver razonablemente bien los principales obstáculos que la limitaban. Estos obstáculos eran los materiales disponibles y la falta de métodos eficaces para la obtención de la forma, el análisis estructural y la confección de patrones. Las experiencias realizadas son suficientes como para considerar al sistema constructivo consolidado, aunque algunos de los aspectos básicos son objeto todavía de investigación, tal como puede comprobarse en las ponencias que se presentan a los congresos y la bibliografía especializada. De entre ellos, los detalles constructivos no constituyen todavía una disciplina conocida y bien documentada, a pesar de que forman parte substancial del proceso de diseño e influyen mucho en el resultado final.

En este atlas se presenta una colección de detalles de la construcción textil, acompañados por un resumen de las obras o proyectos a que pertenecen. Están clasificados por tipos y van comentados de acuerdo con los principios y requerimientos a que responden o debieran responder. En la primera parte del atlas se desarrollan estos principios y requerimientos de proyecto del detalle constructivo. Sirven para tenerlos en cuenta en el diseño y pueden utilizarse para evaluar una solución determinada, porque el grado de cumplimiento de cada uno de ellos proporciona, si procede, un criterio de valoración. Obsérvese sin embargo que estos criterios generales no se pueden aplicar indiscriminadamente a cualquier situación.

Las características particulares de cada caso requieren adaptación y flexibilidad. En la segunda parte se presenta la tipología ilustrada con ejemplos concretos situados en su contexto. A los proyectistas que los utilicen, se recomienda que no sólo busquen los detalles para recortar y pegar, sino que también estudien el conjunto del que forman parte y consideren las observaciones que se formulan. De este modo podrán comprobar si el detalle que consultan es el adecuado, corregirlo y adaptarlo a cada caso particular, o incluso elaborar un detalle original.

PRINCIPIOS DE PROYECTO

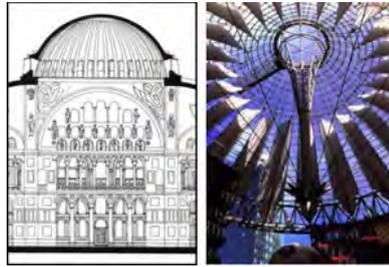
1.- EXPRESIÓN VISUAL. ASPECTO



1.1.- Coherencia y homogeneidad.
Las membranas son muy ligeras y translúcidas. Siguen el camino de las cargas y (cas) no tienen canto ni peso. Conviene conservar estas características en los detalles. Golf



de Sant Cugat. Avda. de los Descubrimientos, Sevilla



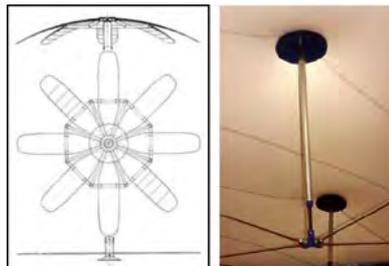
1.2.- Ligereza y sencillez.
 La ligereza no es solamente una cuestión de peso. La cúpula de Santa Sofía pesa mucho más que el mástil central del Sony Centre pero no lo parece, porque las aberturas de la base permiten que la luz natural entre de forma que la cúpula levite.

Cúpula de Santa Sofía. Sony Centre, Berlin



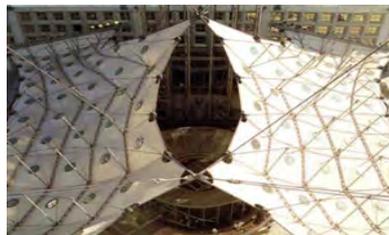
1.3.- Equilibrio y proporción.
 Conscientemente o no, el ojo compara las partes entre sí. Aparecen contradicciones si se mezclan accesorios diferentes y soluciones descompensadas. Es mejor utilizar pocos elementos diferentes y agrupar los tamaños similares.

Desproporción manifiesta entre los tensores y el cable que contrarrestan.



1.4.- Suavidad y transición.
 Las aristas, las puntas y los bordes afilados concentran los esfuerzos, cortan la membrana y manifiestan agresividad. Hay que suavizarlos redondeando las puntas, achafañando las esquinas o interponiendo dispositivos de transición.

2 Soluciones para evitar el punzonamiento: Exposición Internacional de Hamburgo. Cafetería del Pabellón de Venezuela.



1.5.- Estilo.
 Los detalles constructivos forman parte de un conjunto que se expresa a través de un estilo. Sobriedad, elegancia, clasicismo, racionalismo, decorativismo, exhibicionismo "high-tech" o deconstructivismo desconcertante son algunas de las connotaciones que se pueden expresar.

El estilo "high-tech" exagera el exhibicionismo estructural: Grande Arche de La défense, París.

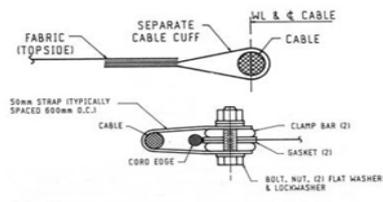
2.- REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES



2.1.- Resistencia.
 Las uniones conectan diferentes partes entre sí y concentran esfuerzos, que han de transmitir. Se resuelven con refuerzos para resistir las concentraciones y accesorios que se encargan de la transmisión. Expositor de automóviles, Figueres



2.2.- Redundancia y estabilidad.
 La estabilidad de las construcciones textiles depende de la integridad de todas sus partes. Para evitar el colapso de la estructura derivado de un fallo local, se pueden utilizar cables redundantes sujetando los puntos críticos de la estructura tales como la parte superior de los mástiles. Instalaciones deportivas FASA Renault, Valladolid



2.3.- Flexibilidad y compatibilidad de deformaciones.

Las diferencias de deformabilidad de los materiales requieren espacio o flexibilidad para absorberlas sin que se moviencen esfuerzos innecesarios al restringir los movimientos. Este requerimiento se manifiesta en bordes, esquinas y otros puntos de unión. El cable de borde puede quedar coaccionado por la relinga (figura superior) o separado (figura inferior).

3.- GEOMETRÍA

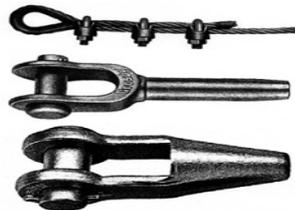


3.1.-Superficie funicular.

La membrana sigue el recorrido de las cargas, evita la flexión y facilita la lectura directa del comportamiento estructural. Hay que mantener esta pauta en las uniones para que no se produzcan excentricidades. Como el cable no sigue la bisectriz de los bordes, la membrana se arruga



3.2.- Se necesita espacio para colocar los accesorios y transmitir las cargas. En los anteproyectos y modelos informáticos se suelen subestimar las dimensiones de los enlaces, que hay que incrementar si se requiere además impermeabilidad, drenaje o ventilación. Un "punto" de desagüe perimetral de la Cúpula del Milenio, Londres



3.3.- El cambio de escala.

Cambiar la escala significa mucho más que cambiar el tamaño. El peso propio, la rigidez, la superficie y el volumen también cambian. Obsérvese que la naturaleza no cambia nunca la escala. El diámetro del cable influye en el tipo de terminal porque modifica la relación entre la superficie y la sección. A medida que aumenta, hay que pasar de los sujetacables al terminal prensado y del terminal prensado al fundido.



3.4.- Coordinación.

Los elementos que se unen requieren coordinación para que las aberturas, distancias, diámetros y groesos se adapten entre sí. Puede realizarse a nivel de proyecto mediante la información técnica que proporcionan los fabricantes. Si hubiesen modificaciones, tendrían que ser coordinadas por el suministrador. Los materiales diferentes son difíciles de coordinar porque tienen resistencias y dimensiones diferentes.

4.- CLIMA Y AMBIENTE



4.1.- Estanqueidad.

La estanqueidad se puede obtener a través de la propia junta estanca (soldada o encolada), solapando la membrana o drenando mediante canal. También se puede cubrir la junta con tejadillo de otro material. Tejadillo de plexiglas del "Grande Bigo", Génova



4.2.- Corrosión.

El acero requiere protección mediante galvanizado. También se puede utilizar el aluminio o el acero inoxidable. Las fundas no son efectivas porque se erosionan fácilmente durante el uso y la manipulación. Terminal fundido con protección insuficiente sometido al ambiente marino



5.- CONSTRUCCIÓN

5.1.- Articulaciones.
 Las articulaciones facilitan la ejecución y liberan los momentos flectores con lo que las cargas circulan por el eje, sin excentricidad. Unión biarticulada: los cables están articulados alrededor del eje Y de la placa y la cartela vertical está articulada alrededor del eje X



5.2.- Sujeciones auxiliares. Suelen necesitarse durante el montaje para los medios auxiliares y elementos de seguridad. Hay que integrarlos en el diseño de la unión para evitar improvisaciones o situaciones incómodas, forzadas o arriesgadas como la de la figura. El montaje se hubiera realizado más fácilmente mediante sujeciones auxiliares

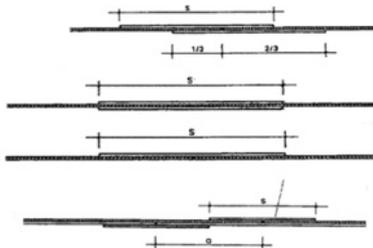


5.3.- Mecanismos regulables.
 El pretensado inicial, los relajamientos producidos por la temperatura, el viento, las cargas y la fatiga requieren mecanismos regulables. La membrana se deforma más que los soportes estructurales, por lo que las uniones necesitan los mecanismos mencionados para recuperar diferencias de deformación y mantener el pretensado. Barras roscadas y tensores para mantener la tensión



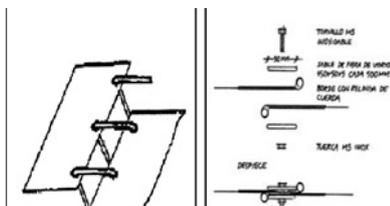
5.4.- Accesibilidad.
 Tanto el montaje como el mantenimiento requieren accesibilidad, que se puede conseguir a través de las mismas estructuras de soporte, la membrana o por medios auxiliares tales como plataformas, grúas o andamios. Un andamio para el mantenimiento del teatro al aire libre de Palma de Mallorca y una plataforma aérea para el auditorio del "Camp de Mart", Tarragona

TIPOLOGÍA



1.- COSTURAS Y JUNTAS

1.1.- De taller.
 La unión de las piezas que constituyen la cubierta suele realizarse en taller cosiendo o soldando los bordes solapados con o sin dobladillo o refuerzo. Diferentes tipos de uniones soldadas con banda auxiliar simple o doble



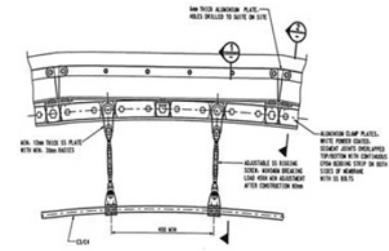
1.2.- Juntas realizadas en obra.
 Aunque lo deseable es la prefabricación en taller del número máximo de uniones posible, las dimensiones de la cubierta o el montaje requieren a menudo que se realicen en obra encoladas, acordonadas, grapadas, empresilladas o incluso, soldadas. Uniones realizadas en obra acordonadas y empresilladas



2.- BORDES PERIMETRALES

2.1.- Flexibles.

Los bordes perimetrales se acaban sin refuerzo o reforzados con dobladillo, cinta, cuerda o cable interior o exterior. Suelen completarse con relinga, ollas o conectores. El cable de borde es exterior. se puede deformar independientemente de la membrana.

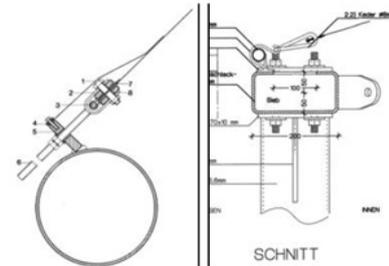


2.2.- Bordes semi-libres.

Para conectar la membrana con estructuras rígidas suele utilizarse la unión acordonada que admite deformaciones diferentes y absorbe las tolerancias dimensionales. Bordes acordonados de la doble capa de la cubierta. La impermeabilidad se consigue a través de una banda auxiliar. Apeadero del AVE, EXPO 92, Sevilla

2.3.- Bordes rígidos.

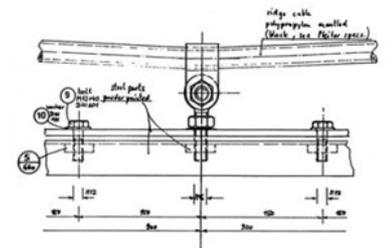
Para resistir a la flexión, el borde tiene que ser rígido. Suele estar formado por un tubo o perfil que debiera tener poco espesor para aligerar el contraste con la membrana. Bordes rígidos tubulares del estadio de Bari y de la cafetería del Pabellón de Venezuela, EXPO 2000, Hannover



3.- ARISTAS

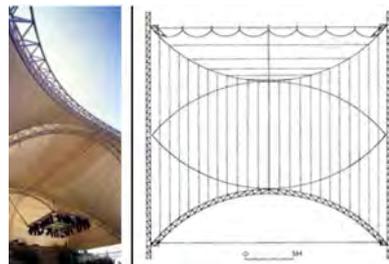
3.1.- Lima tesas colgadas, flexibles y cóncavas, atrantadas mediante cables.

Suelen aprovecharse para realizar una unión en obra. En los laboratorios Schlumberger de Cambridge se aprovecha la lima tesa como unión empresillada realizada en obra. Obsérvese cómo cuelga del cable superior.



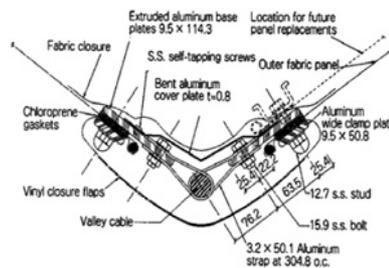
3.2.- Lima tesas apoyadas o cumbreras.

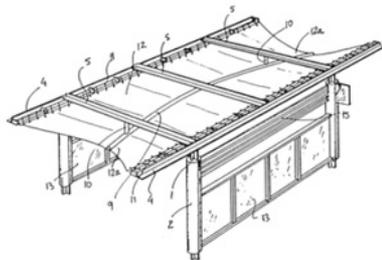
La estructura que recibe la cubierta es rígida. Suele ser una viga o arco en celosía de tubos o perfiles. En la discoteca Bananas de "El Bruc" la lima tesa principal o cumbra es una viga de perfiles tubulares en celosía. No es necesaria desde un punto de vista estructural pero evita que se forme una superficie casi plana que tendría dificultades para desaguar.



3.3.- Lima hoyas atrantadas o valles, flexibles y cóncavas.

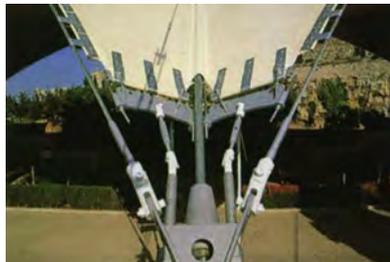
Recogen el agua y marcan el gálibo interior de la cubierta. Suelen situarse entre lima tesas. Valle de la cubierta del aeropuerto de Denver. Se aprovecha como unión empresillada realizada en obra. Requiere pretensado para contrarrestar el relajamiento producido por la nieve. Obsérvese cómo se protege.



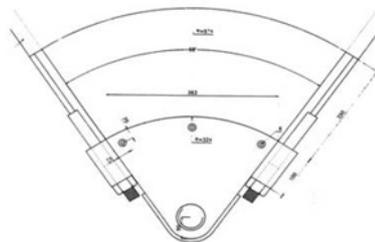


3.4.- Lima hoyas apoyadas.
 La estructura rígida que conforma la lima hoya empuja la cubierta hacia abajo, con lo que no se percibe directamente desde el interior. El modelo "Leida" tiene dos pórticos principales unidos por travesaños que sujetan un arco longitudinal. Este arco empuja la lona hacia abajo conformando la lima hoya para desaguar y obtener doble curvatura.

4.- ESQUINAS

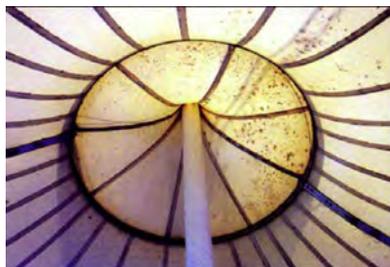


4.1.- Esquinas exteriores.
 Recogen los cables de borde así como el final de la membrana por separado. El ajuste suele realizarse mediante tensores o extremos roscados. Esquina exterior del auditorio del "Camp de Mart", Tarragona. Obsérvese cómo se regulan por separado todas las partes.



4.2.- Esquinas solapadas.
 Están incorporadas a la superficie de la cubierta, que refuerzan y rematan. Suelen ser placas sándwich de aluminio o acero inoxidable y se distinguen por la forma de recibir y ajustar los cables de borde. Esquina solapada del auditorio del "Port Aventura", Vilaseca-Salou. Obsérvese como se sujetan los cables de borde mediante terminales roscados regulables.

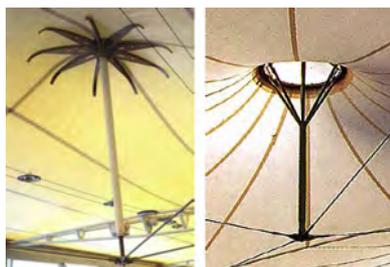
5.- PUNTOS ALTOS Y BAJOS



5.1.- Puntos altos sobre mástil interior.
 Concentran las cargas y requieren refuerzo y dispositivo especial para resolver la discontinuidad de la transición entre una superficie y un punto. Estadio de críquet del Lord's, Londres



5.2.- Puntos altos sobre mástil exterior.
 Recogen una esquina y suelen estar atirantados, a menos que el mástil sea autoportante, trabajando en voladizo vertical. Mástil de borde atirantado del ILEK, Stuttgart; tiene forma de A, lo cual le da estabilidad transversal y está articulado. Mástiles de borde autoportantes de la discoteca Charly Max, Ibiza: no necesitan tirantes.



5.3.- Puntos altos sobre mástil flotante.
 El mástil flotante es una aplicación parcial de los principios de las estructuras tensegrity. Reduce a un solo montante la parte comprimida y consigue curvatura y convexidad gracias al atirantamiento de los cables que lo empujan hacia arriba. Oficinas Imagination, Londres. Aparcamiento del Servicio de Recogida de Basuras, Munich



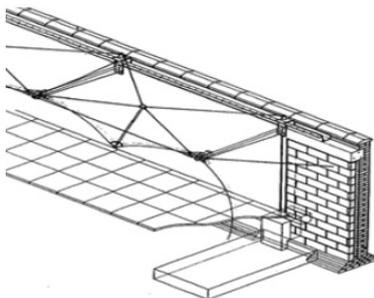
5.4.- Puntos altos colgados.
 Si la estructura de soporte de la cubierta interfiere con el uso, se puede situar al exterior. Los puntos



altos quedan colgando en lugar de estar apoyados Pabellón Ambiente, EXPO 92 , Sevilla



5.5.- Puntos bajos atirantados.
Para conseguir curvatura suficiente, es frecuente que se atiranten puntos interiores de la cubierta hacia abajo, que se convierten en desagües. Pueden coincidir o no con mástiles. Peaje de la autopista Amiens-Boulogne.



5.6.- Puntos bajos apoyados o empujados.
En este caso el punto bajo no está atirantado, sino empujado hacia abajo por una barra comprimida, que suele ser un mástil flotante. Oficinas M.Hopkins, Londres

6.- PLACAS DE ANCLAJE

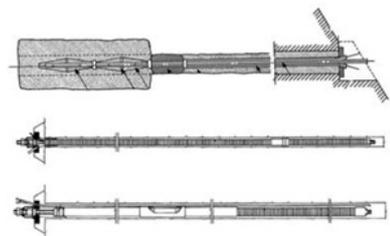


6.1.- Bases de mástiles.
Transmiten compresión y suelen estar articuladas para evitar la flexión, a menos que se requiera que el mástil sea autoportante. Pueden incorporar mecanismos para el pretensado de la cubierta. Auditorio del "Camp de Mart", Tarragona. Polideportivo de Pozuelo de Alarcón

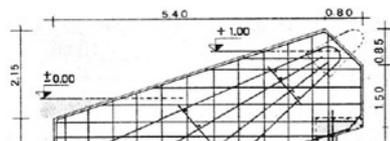


6.2.- Anclaje de tirantes.
Son placas perforadas para recibir el terminal en horquilla del cable o el accesorio de fijación, que queda articulado para que se pueda colocar en la dirección del tirante sin que se produzcan excentricidades. Auditorio del "Camp de Mart", Tarragona. Obsérvense los refuerzos (corona, aletas y cartelas) que van transmitiendo progresivamente la carga del tirante al cemento.

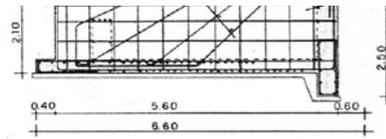
7.- ANCLAJES



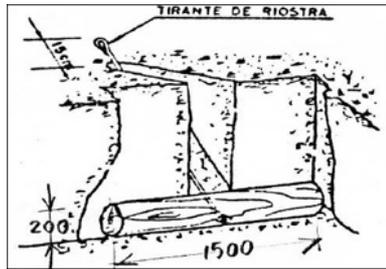
7.1.- Anclajes activos.
Son anclajes introducidos en el terreno y pretensados entre el extremo interior o bulbo de mortero o resina y la placa. La carga exterior descomprime el suelo circundante, con lo que la deformación que se produce resulta muy reducida.



7.2.- Anclajes pasivos superficiales.
Pueden ser estacas, pilotes, pozos, zapatas, elementos de pantalla, tablestacas, macizos, bolsas, tubos u otros dispositivos que entren en carga contra el suelo al actuar la fuerza exterior. Se mueven más que



los anclajes activos pero no requieren pretensado, por lo que son más fáciles de construir. Macizo de hormigón armado.



7.3.- Anclajes pasivos profundos. Son objetos enterrados tales como placas, hélices, perfiles, emparrillados, troncos, barras o macizos. Para arrancarlos hay que vencer cuatro efectos resistentes que son: el peso propio, el del suelo que hay que desplazar, el rozamiento de las caras laterales y el empuje pasivo lateral. Muerto de madera

OBRAS ANALIZADAS Y EQUIPO DE TRABAJO

Para investigar los principios de proyecto y formular la tipología, se han analizado 59 obras y 181 detalles constructivos correspondientes a 30 proyectos del autor, 11 obras visitadas y 18 procedentes de la bibliografía disponible que incluye 86 títulos. Formaron parte del grupo de investigación dirigido por el autor: L.I. Bedós, A. Olmos, D. Peña, N. Rodríguez y E. Vivas.

PRONTUARIO de cables, terminales y accesorios disponible en la red: <http://www.upc.edu/ca1/cat/reerca/tensilestruc/portada.html>

ENLACES de interés disponibles en la red: <http://www.tensinet.com>

BIBLIOGRAFÍA

H. Berger, 1996 : "Light Structures. Structures of Light". Birkhäuser Verlag, Basel
 E. Bubner, 1997: "Membrane construction. Connection details". Druckerei Wehlmann GmbH, Essen.
 A. Capasso, 1993. "Le tensostrutture a membrana per l'architettura". Maggioli Editore, Rimini
 T. Dalland, 1992: "Is God in the details ?", Fabric Architecture, Nov/Dec p.29-33,38 DETAIL n° 6/1994, 8/1996, 6/1998, 6/2000, 5/2001
 F. Escrig & J. Sánchez, 2002: "Estructuras en tracción I y II". "STAR Structural Architecture" n° 5 y 6. Grupo de Investigación Tecnológica de la Arquitectura, ETSAS
 B. Forster & M. Mollaert (ed), 2004: "European design guide for tensile surface structures". Vrije Universiteit Brussel.
 L. Gründig (ed), 1995 a 2004: "Textile Roofs". Technische Universität, Berlin C.G. Huntington, 2000: "Connections and detailing", Fabric Architecture, Jan/Feb p.48-51, March/April p.64-67
 K. Ishii, 1999: "Membrane designs and structures in the world". Shinkenchiku-sha, Tokyo
 K.M.Koch, 2004. "Membrane structures". Prestel, Munich
 R. Kronenburg, 1997: "FTL Todd Dalland & Nicholas Goldsmith", Academy Editions, Chichester
 J. Lorens, 2003: "Details in context. Case studies". En M. Mollaert (ed), "Designing tensile architecture". Vrije Universiteit Brussel.
 J. Monjo, 1991: "Introducción a la arquitectura textil. Cubiertas colgadas". COAM, Madrid.
 H. J. Schock, 1997: "Soft shells. Design and technology of tensile architecture". Birkhäuser, Basel.