

P.20

# STRUCTURAL MEMBRANES 2015

P.28

## TENSAIRITY PAVILIONS *Pabellones Tensairity*

P.34

## INNOWAVETION

P.46

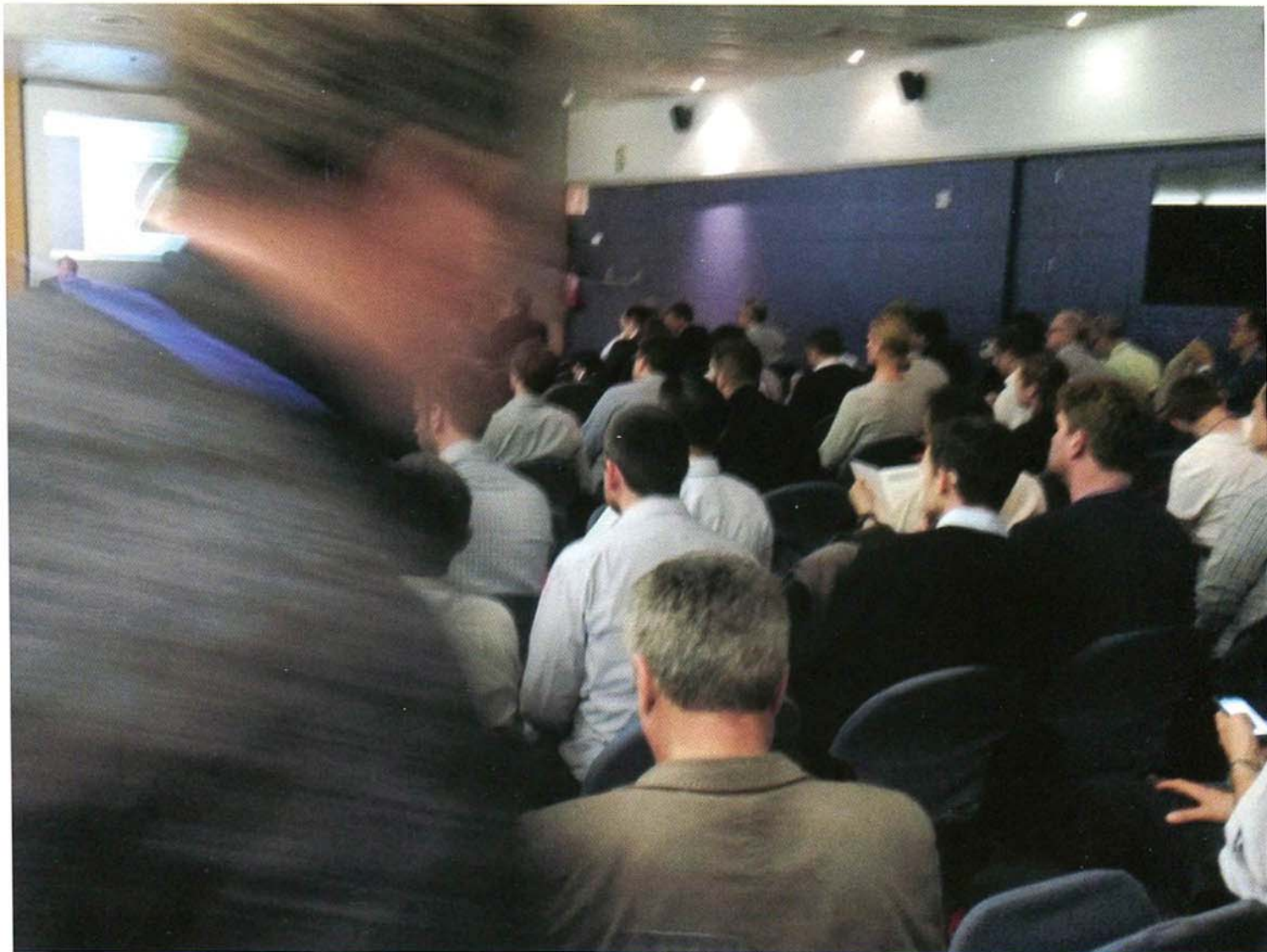
## ICON FOR SUSTAINABILITY *Icono para la sostenibilidad*



Subscribe at | *Suscríbete a*  
[www.editorialespazio.com](http://www.editorialespazio.com)







# STRUCTURAL MEMBRANES 2015

MEMBRANAS ESTRUCTURALES 2015

## 7th International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures

VII Conferencia Internacional sobre Textiles  
Compuestos y Estructuras Inflables

**Josep I. de Llorens Duran**

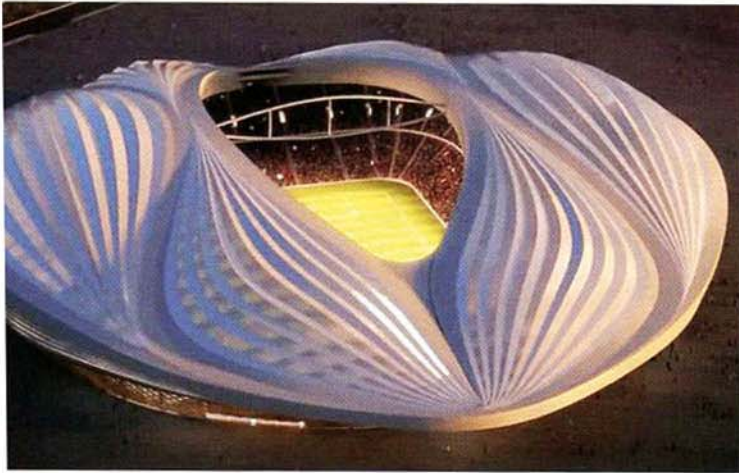
**THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE** on Textile Composites and Inflatable Structures was held in Barcelona from 19 to 21 October 2015, organized by the International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMEN) and presided over by the university lecturers E. Oñate (UPC) and K. U. Bletzinger (TUM). It was the seventh in a series of international conferences that began in Barcelona in 2003 and will continue in Munich in 2017.

There were 9 plenary lectures and 81 papers, grouped into 13 sessions, with 118 participants from 25 countries across four continents. The subjects dealt with focused on the physics of construction, materials, tests and advanced simulation methods. Research in progress and recently produced applications, works and designs were also present.

**LA "VII CONFERENCIA INTERNACIONAL** sobre Textiles Compuestos y Estructuras Inflables" se celebró en Barcelona del 19 al 21 de octubre 2015, organizada por el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE) y presidida por los profesores E.Oñate UPC y K.U.Bletzinger TUM. Fue la séptima de una serie de Conferencias Internacionales que empezó en Barcelona en 2003 y continuará en Munich en 2017.

Se presentaron 9 conferencias plenarias y 81 ponencias, agrupadas en 13 sesiones, a 118 participantes procedentes de 25 países de cuatro continentes. Los temas tratados se centraron en la física de la construcción, los materiales, sus ensayos y los métodos avanzados de simulación. También estuvieron presentes la investigación en curso así como las aplicaciones, obras y proyectos realizados recientemente.





### Plenary lectures

R. M. Pauletti, of the University of Sao Paulo, began the plenary lectures by setting out the basic concepts and methods for design with cable nets and structural membranes characterized by their funicular shape, permanent state of traction and lightness, flexibility and luminosity. He highlighted the paradox involved in the formal determinism required by flexible structures as against the formal arbitrariness with which rigid structures can be approached (figures 1 and 2).

K. Göppert as usual entertained the audience with an impressive collection of works from the engineering firm Schlaich, Bergermann und Partner. He underlined the efficiency of the solutions they developed and illustrated them with the Mercedes Benz Arena (Stuttgart), the Kiev stadium, the BC Place (Vancouver), the Amazonia Arena (Manaus) and the stadiums of Krasnodar, Al Wakrah, the Nacional in Caracas, Cape Town, Warsaw, Baku and Hazza Bin Zayed in Abu Dhabi. However, the disproportionate investments they involve and the resulting shapes do not, in some cases, meet the principles of efficiency and sustainability (fig. 3).

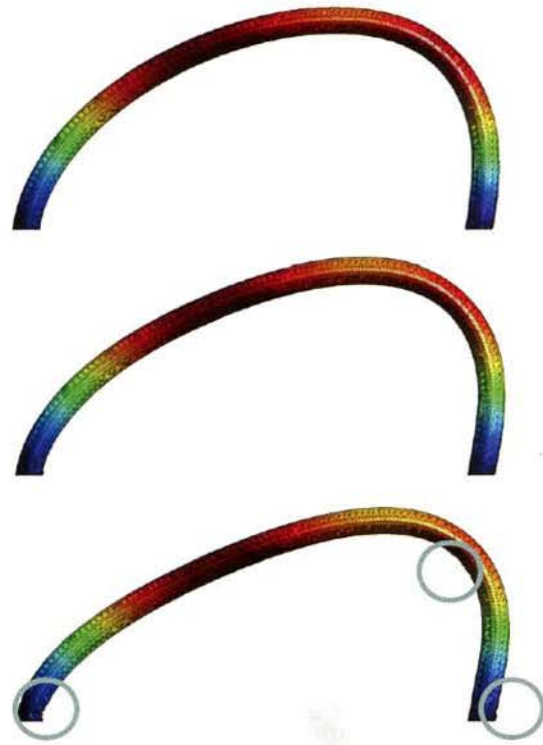
### Conferencias plenarias

R.M.Pauletti de la Universidad de Sao Paulo empezó las conferencias plenarias exponiendo los conceptos y métodos básicos de diseño de las redes de cables y las membranas estructurales, que se caracterizan por la forma funicular, el estado permanente de tracción, su ligereza, flexibilidad y luminosidad. Destacó la paradoja que supone el determinismo formal que requieren las estructuras flexibles frente a la arbitrariedad formal con la que pueden plantearse las estructuras rígidas (figuras 1 y 2).

K. Göppert entretuvo como de costumbre al respetable con una colección impresionante de obras de la ingeniería Schlaich, Bergermann und Partner. Subrayó la eficiencia de las soluciones que desarrollan y las ilustró con la Mercedes Benz Arena (Stuttgart), el estadio de Kiev, el BC Place (Vancouver), la Arena de Amazonia (Manaus) y los estadios de Krasnodar, Al Wakrah, Nacional de Caracas, Ciudad del Cabo, Varsovia, Baku y Hazza Bin Zayed en Abu Dhabi. Sin embargo, las inversiones des-



- 1 The shape of flexible structures is not arbitrary. It is funicular. (National Library, Riyadh).
- 2 The shape of rigid structures can be arbitrary. (Louis Vuitton Foundation, Paris).
- 3 Al-Wakrah Stadium, Qatar.
- 4 Great deformations in the Buildair inflatable arch subject to wind action indicating the appearance of wrinkles.
- 1 La forma de las estructuras flexibles no es arbitraria. Es funicular. (Biblioteca Nacional, Riyadh).
- 2 La forma de las estructuras rígidas puede ser arbitraria. (Fundación Louis Vuitton, Paris).
- 3 Estadio Al-Wakrah, Qatar.
- 4 Grandes deformaciones del arco hinchado Buildair sometido a la acción del viento. Se indica la aparición de arrugas.



proporcionadas que suponen y la formas resultantes en algunos casos no se ajustan a los principios de eficiencia y sostenibilidad (fig.3).

R.Wüchner de la Universidad Politécnica de Múnich se planteó la interacción del viento y las estructuras ligeras flexibles de formas complejas y la aplicó a los hangares de arcos hinchables Buildair para determinar la presión interna, la resistencia de los anclajes y las deformaciones. Expuso las dificultades que suponen las arrugas, las vibraciones, las cargas variables, el acoplamiento, los cambios de escala, la simulación del flujo y la rigidez del modelo, que requieren la validación de los resultados (fig.4).

J.Hennicke del ILEK en "70 años en 30 minutos" recordó las principales aportaciones de Frei Otto, desaparecido el pasado marzo, al conocimiento y difusión de las membranas estructurales. Desde su colaboración con P.Stromeyer, el mayor fabricante de tiendas de Alemania, y la fundación del Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart en 1964 que dirigió hasta su jubilación en 1991, basó su trabajo en la observación de los procesos naturales de obtención de la forma. Con un repaso de sus obras ilustró sus aportaciones más significativas. Recomendó la lectura del nº 20 de la revista del Instituto donde se plantean 400 problemas y cuestiones vinculadas al desarrollo de las estructuras ligeras que siguen sin respuesta.

M.Majowiecki de la Universidad de Bolonia en "Wide

R. Wüchner, of the Technische Universität München, approached the interaction of the wind and light flexible structures with complex shapes and applied it to Buildair inflatable arch hangars to determine the internal pressure, the strength of the anchorages and deformations. He set out the difficulties posed by wrinkles, vibrations, variable loads, coupling, changes of scale, flow simulation and the rigidity of the model, requiring the confirmation of the results (fig. 4).

In "70 years in 30 minutes", J. Hennicke, of ILEK, recalled the principal contributions of Frei Otto, who died in March, to the knowledge and dissemination of structural membranes. From his work with P. Stromeyer, the biggest tent manufacturer in Germany, and the foundation of the Institute for Lightweight Structures in Stuttgart in 1964, which he ran until he retired in 1991, he based his work on observing natural processes for obtaining shapes. With a review of his work, he illustrated his most important contributions. He recommended reading nº 20 of the Institute's journal, raising 400 problems and issues linked with the development of lightweight structures that still remain unanswered.



In “Wide membrane enclosures: personal experiences”, M. Majowiecki, of the University of Bologna, looked the particular features of structures providing large spaces, particularly the effects of changing scale, for example, from 2,000 to 20,000 m<sup>2</sup>. He pointed out that the Olympic Stadium in Rome was the first of the current generation of large stadiums covered with membranes based on a structure of radial cables between inner rings in traction and external compression (fig. 5).

J. Marcipar, of Buildair, set out the challenges and opportunities presented by inflatable structures. With his company Buildair he has developed pavilions with inflatable arches providing large spaces for events and hangars, like the one it built in Budapest for the Lufthansa technical service with 45 m of space inside (fig. 6).

A. Pronk of the Eindhoven University of Technology surprised the audience with constructions made of ice. A specialist in formwork technique, he has recovered the ice techniques reinforcing it with “Pykrete” fibers and carrying out various experiments. Outstanding among his works and projects are his own version of Antoni Gaudí’s Sagrada Familia (fig. 7) and an ice bridge designed by Leonardo (fig. 8).

R. Wagner of the Karlsruhe Institute of Technology also surprised the audience with Tomás Sarraceno’s networks accessible to the public in Düsseldorf (fig. 9) and the Brazilian pavilion at the Milan Expo 2015 (fig. 10). Tomás Sarraceno’s installation “In Orbit” is a superimposition of three separate cable nets tensed by six inflatable spheres, producing the sensation of floating in the air for anyone who dares to walk across them. In the Brazilian pavilion, the aim was to combine architecture and stage design to provide visitors with a sensory experience.

### Technical sessions

The 17 technical sessions included 81 papers devoted to adaptable and folding structures, design, advanced analysis methods, the dynamic relaxation method, ETFE, wind action, active bending, pneumatic structures, flexible formwork, aerospace applications, materials, testing, details, applications and how to implement them.

membrane enclosures: personal experiences” abordó las particularidades de las estructuras de gran luz, incidiendo especialmente en los efectos del cambio de escala al pasar, por ejemplo, de los 2.000 a los 20.000 m<sup>2</sup>. Puntualizó que el estadio olímpico de Roma fue el primero de la generación actual de grandes estadios cubiertos con membranas basados en la estructura de cables radiales entre los anillos traccionado interior y de compresión exterior (fig.5).

J.Marcipar de Buildair expuso los retos y oportunidades que se presentan para las estructuras hinchables. Con su empresa Buildair ha desarrollado los pabellones de arcos hinchados de gran luz para eventos y hangares como el que ha construido en Budapest de 45 m de luz interior para el servicio técnico de Lufthansa (fig.6).

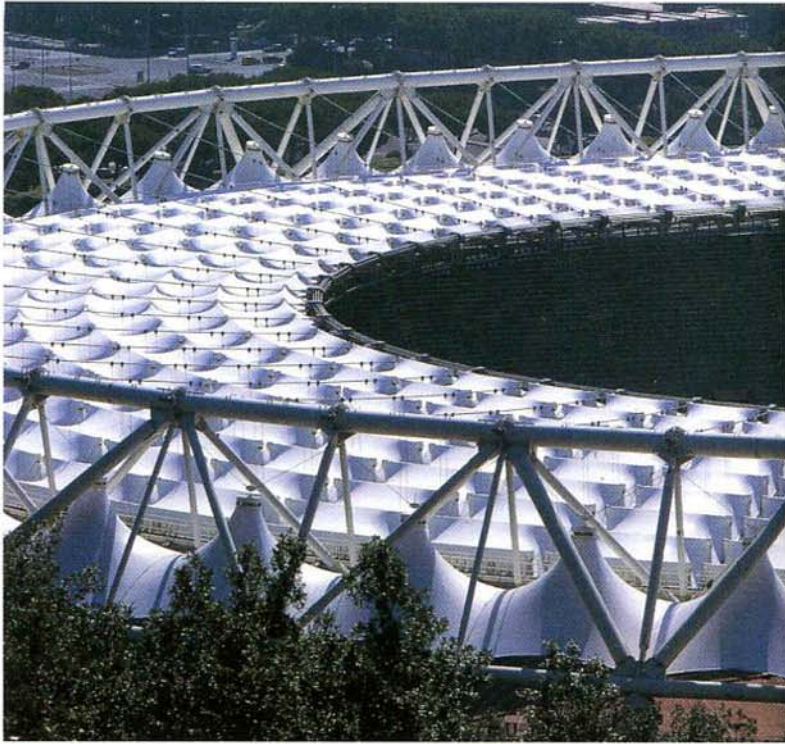
A.Pronk de la Universidad Politécnica de Eindhoven sorprendió a la audiencia con las construcciones realizadas con hielo. Especializado en las técnicas de encofrado, ha recuperado la técnica del hielo reforzado con fibras “Pykrete” realizando varias experiencias. De entre sus obras y proyectos destacan su versión particular de la Sagrada Familia de Antonio Gaudí (fig.7) y el puente de hielo proyectado por Leonardo (fig.8).

R.Wagner del Instituto de Tecnología de Karlsruhe también sorprendió a la audiencia con las redes accesibles al público de Tomás Sarraceno en Düsseldorf (fig.9) y del pabellón del Brasil en la Expo de Milán 2015 (fig.10). La instalación “In Orbit” de Tomás Sarraceno es una superposición de tres redes de cables separadas y tensadas por seis esferas hinchadas que producen la sensación de flotar en el aire a los que se atreven a circular por ellas. En el pabellón del Brasil, el objetivo fue combinar la arquitectura y la escenografía con el fin de proporcionar a los visitantes una experiencia sensorial.

### Sesiones técnicas

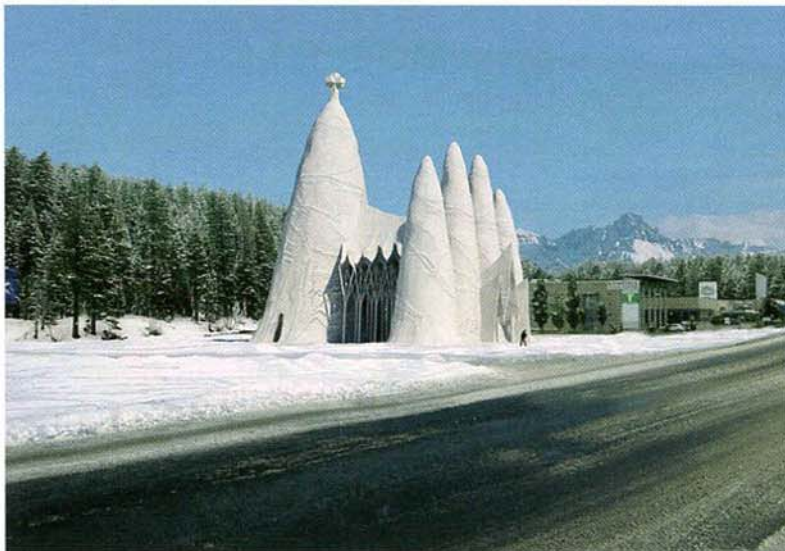
Las 17 sesiones técnicas incluyeron 81 ponencias dedicadas a las estructuras adaptables y plegables, el diseño, los métodos avanzados de análisis, el método de relajación dinámica, el ETFE, la acción del viento, la flexión activa, las estructuras neumáticas, los encofrados flexibles, las aplicaciones aeroespaciales, la acción del viento, los materiales, sus ensayos, los detalles, las realizaciones y su ejecución,





- 5 The Olympic stadium in Rome, 1990, was the first of its generation.
- 6 Buildair hangar at Budapest airport for Lufthansa.
- 7 The Sagrada Familia in ice.
- 8 Ice bridge designed by Leonardo da Vinci.
- 9 Tomás Sarraceno's installation at Kunstsammlung NRW, Düsseldorf.
- 10 Brazilian pavilion, Milan Expo 2015.

- 5 El estadio olímpico de Roma 1990 fue el primero de su generación.
- 6 Hangar de Buildair en el aeropuerto de Budapest para Lufthansa.
- 7 La Sagrada Familia de hielo.
- 8 Puente de hielo proyectado por Leonardo da Vinci.
- 9 Instalación de Tomás Sarraceno en Kunstsammlung NRW, Düsseldorf.
- 10 Pabellón de Brasil. Expo de Milán 2015.







## Applications

R. Houtman of Tentech presented the “Inno-wave-tion” pavilion, with its roof braced between a central sphere and a perimeter compression ring. To prevent bulging, the principle of “tensairity” is applied, consisting of linking it to the surface of a pneumatic ring. The structure is calculated by jointly modeling the metal part and the membrane, using the Easybeam and Easyvol programs from “technet GmbH” (fig. 11).

M. Barozzi, of the Polytechnic University of Milan, proposed a solution for roofing archaeological digs that require protection from the weather. His suggestion is light, easy to put up, has minimum impact and is flexible enough to adapt to the configuration of each site. The solution, developed for the ruins of Nora (Sardinia), is based on applying the principle of active bending, coupling the tension of the membrane with the bending of the arches supporting it (fig.12).

Another notable application, presented by P. Beccarelli of the University of Nottingham, was the Ducati pavilion set up during Motorcycle Grand Prix, which has to be put up in a short time with few resources. To achieve this, the choice consisted of pneumatic “tensairity” beams sup-

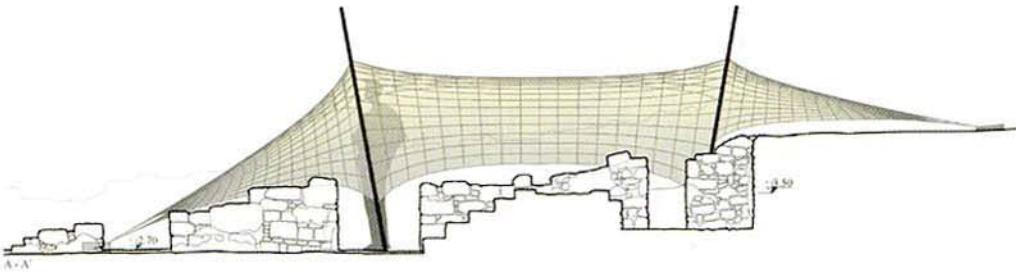
## Realizaciones

R.Houtman de Tentech presentó el pabellón “Inno-wave-tion” cuya cubierta está atirantada entre una esfera central y un anillo perimetral de compresión. Para evitar el pandeo, se le aplica el principio del “tensairity” que consiste en vincularlo a una superficie tórica neumática. El cálculo de la estructura se realizó modelando conjuntamente la parte metálica y la membrana utilizando los programas Easybeam y Easyvol de “technet GmbH” (fig,11).

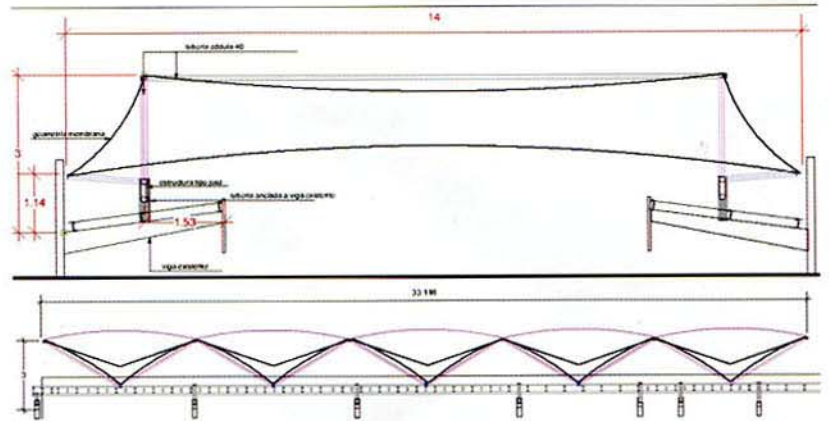
M.Barozzi del Politécnico de Milán propuso una solución para la cubierta de las excavaciones arqueológicas que requieren protección climática, facilidad de montaje, ligereza, mínimo impacto y flexibilidad para adecuarse a la configuración de cada yacimiento. La solución, desarrollada para las ruinas de Nora (Cerdeña), se basa en la aplicación del principio de la flexión activa que acopla la tensión de la membrana con la flexión de los arcos que la soportan (fig.12).

Otra realización notable presentada por P.Beccarelli de la Universidad de Nottingham fue el pabellón de Ducati para montar durante los grandes premios de motociclismo, es decir, en pocas horas con pocos medios. Por ello se optó por utilizar vigas neumáticas “tensairity” apoyadas





- 11 Silvain Dubuisson's itinerant "Inno-wave-tion" pavilion for BNP.
- 12 Prototype roof for archaeological digs at Nora (Sardinia).
- 13 The Ducati pavilion of pneumatic beams supported on equipment transport trucks.
- 14 Roof of the Mix shopping centre in Guatemala, made by Creararquitectura.
- 11 El pabellón itinerante de "Inno-wave-tion" de Silvain Dubuisson para BNP.
- 12 Prototipo de cubierta para las excavaciones arqueológicas de Nora (Cerdeña).
- 13 El pabellón de Ducati de vigas neumáticas apoyadas sobre los camiones de transporte del equipo.
- 14 Cubierta del centro comercial Mix en Guatemala, realizado por Creararquitectura.



ported on the trucks used to transport the motorcycles and their equipment (fig.13).

Carlos Armendariz, of Creararquitectura, showed its applications in Latin America, including the Mix shopping centre. A succession of crests and valleys cover the linear space of the restaurant (fig.14). He announced the 7th Latin American Tensile Structure Symposium, to be held at Rafael Landívar University in Guatemala from 7 to 9 September 2016.

The next International Structural Membrane Conference will take place at the Technische Universität in Munich from 9 to 11 October 2017. Information will be available at: <http://congress.cimne.com/membranes2017/frontal/default.asp>. ♦

Josep Llorens is an architect and professor at the ETSAB/UPC. [ignasi.llorens@upc.edu](mailto:ignasi.llorens@upc.edu)

sobre los camiones de transporte de las motocicletas y su equipo (fig.13).

Carlos Armendariz de Creararquitectura mostró sus realizaciones en Latinoamérica de entre las que destacó el centro comercial Mix. Una sucesión de crestas y valles cubren el espacio lineal del restaurante (fig.14). Anunció el VII Simposio Latinoamericano de Tensoestructuras que se realizará en la Universidad Rafael Landívar de Guatemala del 7 al 9 de Septiembre de 2016.

La próxima Conferencia Internacional de Membranas Estructurales tendrá lugar en la "Technische Universität" de Múnich del 9 al 11 de octubre de 2017. La información estará disponible en: <http://congress.cimne.com/membranes2017/frontal/default.asp>. ♦

Josep Llorens es Dr.Aquitecto, ETSAB/UPC. [ignasi.llorens@upc.edu](mailto:ignasi.llorens@upc.edu)



The book of conference papers is available here.  
El libro de las ponencias de la Conferencia está disponible aquí.



Watch the video of the plenary lectures.  
Mira el video de las conferencias plenarias.