

Arquitectura
PROYECTO ARQUITECTÓNICO

Refugio tropical. Tensoestructuras en Costa Rica

Lic. Jan-Frederik Flor, Arquitecto

Profesional independiente

janflor@gmx.de

Invitado internacional

Recibido: 12 julio 2015

Aceptado: 2 setiembre 2015

Arquitectura
Proyecto arquitectónico

Resumen

El artículo relata la experiencia de un ejercicio estudiantil, para el que se construyó una tensoestructura en el marco de una actividad académica. El texto introduce los orígenes históricos y el desarrollo moderno de las estructuras de membrana en la arquitectura global. En comparación, se traza el proceso de desarrollo que ha tenido la tecnología en Costa Rica y se citan varios ejemplos de proyectos recientes. De modo introductorio a la descripción del proyecto, se presentan principios básicos de las tensoestructuras que abarcan la estructura, materiales, detalles y geometrías. Se expone de manera descriptiva el proceso de diseño, fabricación e instalación del proyecto, como también los estudios de soleamiento y análisis de dirección y velocidad del viento, que se usaron para adaptar el diseño de la tensoestructura a las condiciones del clima tropical.

Palabras clave: arquitectura tropical; tensoestructuras; educación y transferencia de tecnología.

Abstract

The paper reports on the experience of a student project where a tensile membrane structure was built as part of a academic activity. The historical origins as well as the modern development of membrane structures architecture at a global scale get introduced. In comparison the development of the membrane building technology in Costa Rica is traced and various recent examples are presented. By way of introduction to the description of the project the basic principles of tensile structures are presented including structure, materials, details and geometries. A detailed description of the processes of design, fabrication and installation is given as well as the analysis studies of sun and wind, which were used to adapt the design to tropical climate conditions.

Keywords: *tropical architecture; tensile membrane structures, education and technology transfer.*

Refugio Tropical. Tensoestructuras en Costa Rica

Jan-Frederik Flor¹

Introducción

Una de las formas más simples y antiguas para protegerse contra los elementos del clima han sido las cubiertas de materiales textiles. Pueblos nómadas de varias culturas han utilizado desde tiempos antiguos los tejidos de fibras naturales o pieles de animales para construir sus campamentos móviles. La flexibilidad, el bajo peso y el rápido montaje y desmontaje fueron las cualidades apreciadas de un material y una manera de construir que permitían una movilidad constante adaptada al medio ambiente. El “Tipi”, una tienda cónica utilizada por los pueblos indígenas norteamericanos, la “Yurta”, vivienda móvil de los pueblos nómadas de Asia Central y las tiendas “Chaima” de la cultura Berebere del norte de África son algunos ejemplos de las construcciones vernáculas que utilizaban textiles o pieles.

Actualmente, prevalecen los mismos criterios y exigencias, sin embargo aplicados a realidades más complejas. Hoy día, las cabañas textiles son frecuentemente utilizadas en grandes campamentos de refugiados o también en actividades culturales, deportivas y religiosas, como una manera de solucionar temporalmente la necesidad de refugio para grandes agrupaciones de personas. Pero no solo en situaciones temporales los textiles juegan un papel importante sino también en la industria de la construcción. Las denominadas tensoestructuras, resuelven de manera permanente espacios en situaciones donde se requieren grandes luces libres de cualquier columna o apoyo intermedio. Estadios, aeropuertos y centros comerciales son tipologías de edificaciones en las cuales las membranas textiles son utilizadas como solución constructiva para cubiertas y fachadas. Véase Figura 1.

En la década de 1950 Frei Otto, arquitecto alemán y fundador del Instituto para Diseño y Construcción de Estructuras Livianas (Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren und Konstruieren ILEK)² de la Universidad de Stuttgart, inició sus investigaciones y experimentos en el desarrollo de técnicas analíticas y constructivas,

1 Jan-Frederik Flor es un Arquitecto graduado de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica y está actualmente concluyendo sus estudios de maestría en el Instituto de Tecnología de Membranas y Cascarones (Instituto for Membrane and Shell Technologies IMS e.V.) en la Universidad de Anhalt para Ciencias Aplicadas, en Dessau, Alemania. El ha trabajado como diseñador de tensoestructuras para empresas en Costa Rica y Austria y está laborando ahora en Stuttgart, Alemania, como experto en el manejo y control de calidad de estructuras de membranas en la industria constructora.

2 Ampliar información en el sitio web: <http://www.uni-stuttgart.de/ilek/institut/institutsprofil/>



Figura 1. Mercedes Benz Arena, Stuttgart, Alemania

que permitían diseñar, calcular y construir estructuras tensadas cada vez más grandes y complejas. Su formación como arquitecto también lo motivó a realizar extensos estudios geométricos que ayudaron a establecer un lenguaje formal y una categorización de tipologías de las estructuras tensiles. A partir del trabajo de Frei Otto y sus colegas, la proliferación de este sistema constructivo a nivel mundial ha sido exponencial y las tensoestructuras lograron establecerse como un sistema constructivo alternativo.

El desarrollo de *software* de análisis especializado, la disponibilidad de nuevos materiales altamente resistentes, con propiedades muy específicas, los avances en las tecnologías de confección, como la automatización del corte y la soldadura, han hecho que esta manera de construir se haya convertido en una tecnología de precisión y alta eficiencia. Un desarrollo que tampoco hubiese sido posible, sin el estrecho trabajo en conjunto de equipos interdisciplinarios de arquitectos, ingenieros y fabricantes. La especialización, como también la interdisciplinaridad, han mostrado ser factores relevantes en este sector constructivo, donde cada uno de los actores aporta sus capacidades y conocimientos técnicos para garantizar el éxito de un proyecto.

Principios de las tensoestructuras

Las tensoestructuras, como las conocemos en la actualidad, se basan en principios de tensión y equilibrio de fuerzas. La forma de la estructura expresa fielmente el flujo de fuerzas que actúan dentro y sobre ella. Todos los elementos de la estructura, aparte de los mástiles, están en todo momento bajo tensión y se encuentran en un equilibrio de fuerzas, donde cada elemento es indispensable para la integridad estructural del sistema total. La tridimensionalidad de las tensoestructuras es esencial, ya que la doble curvatura garantiza la estabilidad estructural y la resistencia ante cargas de múltiples direcciones. Las formas y geometrías típicas que cumplen con estos requerimientos estructurales son las superficies anti-clásticas, que son aquellas que poseen una doble curvatura, o una *curvatura gaussiana*³ negativa, expresado en términos matemáticos. Las geometrías típicas que poseen estas características son los conoides, paraboloides hiperbólicos, las superficies arqueadas y también las soluciones con cresta y valle. Estas geometrías son utilizadas y adaptadas en un sin fin de variaciones y combinaciones para crear soluciones formales adaptadas a problemas específicos de diseño. La naturaleza ofrece en este sentido muchas fuentes de inspiración. El ejemplo más emblemático del mundo natural sería un tejido de una araña. También los experimentos que realizó Frei Otto con burbujas de jabón, para estudiar las superficies mínimas, ejemplifican muy bien la eficiencia y belleza que subyace a esas estructuras y muestran que la forma es, en todo momento, una expresión directa de las tensiones.

129

Las tensoestructuras se componen generalmente de varios elementos que son: la membrana, los perfiles o placas de conexión y una estructura de cables y mástiles. Las membranas más utilizadas en la actualidad están compuestas de diferentes combinaciones de materiales. Los principales tipos son los tejidos de polyester recubiertos por PVC, y también los tejidos de fibra de vidrio recubierto por PTFE (*Polytetrafluoroethylene*), conocido como teflón. La estructura, las placas, los cables y otros accesorios, son generalmente de acero. Habitualmente todos los elementos estructurales de una tensoestructura son livianos y de secciones reducidas, en comparación con estructuras que no solo están sujetas a fuerzas a tensión, sino también a compresión, flexión, torsión y cortantes.

El diseño de las tensoestructuras es un proceso muy racional, que contrasta con la aparente libertad formal. Por lo general, las condicionantes del proyecto, como las

³ La curvatura gaussiana, a diferencia de las curvaturas principales, es una curvatura intrínseca: es decir, solamente depende de las distancias entre los puntos dentro de la superficie, y no en cómo esta está contenida en un espacio tridimensional. Este importante hecho se afirma por el teorema Egregium Gauss.

limitaciones espaciales, los posibles puntos de anclaje, las áreas de desagüe y otros requerimientos definen una gran parte del proyecto. Queda suficiente libertad arquitectónica para buscar ciertos atractivos formales y espaciales e incorporar elementos geométricos que favorecen el acondicionamiento del espacio. Ese proceso inicial es denominado como la búsqueda de la forma y se realiza generalmente en un primer paso, con bocetos y una maqueta de trabajo elaborada con materiales flexibles. Cabe mencionar que esta búsqueda de la forma se diferencia drásticamente del típico proceso de diseño, ya que no se impone una forma imaginada por el diseñador, sino que se busca la forma que corresponde geoméricamente a los requerimientos y el equilibrio entre fuerza y material. Para visualizar una superficie de doble curvatura y estimar su comportamiento estructural, es indispensable recurrir a software especializado. Además de la visualización, con estos programas se logra realizar los cálculos estructurales aplicando diferentes combinaciones de carga antes de pasar a la generación de patrones de corte que permiten fabricar con un material plano una geometría tridimensional.

Tensoestructuras en Costa Rica

130

La tensoestructura como tecnología constructiva, llegó a Costa Rica a mediados de los años ochenta, cuando se utilizó por primera vez en el Estadio Nacional, a raíz de los traspasos de poderes en 1990 y 1994. La segunda fue de mayores dimensiones, compuesta por varios módulos de membrana con una geometría de cresta y valle que se repetía linealmente. En 1999, por iniciativa de la Fundación Costa Rica para el Desarrollo Sostenible, se promovió el proyecto LINCOS (The Little Intelligent Communities Project). En este proyecto colaboró el Massachusetts Institute for Technology (MIT) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) con el apoyo de la empresa privada, para llevar tecnologías informáticas y acceso a Internet, a comunidades remotas. Este proyecto supuso la instalación de pequeños laboratorios móviles, fabricados a partir de contenedores navales, que fueron cubiertos por unas tensoestructuras que tenían la típica forma de montura de caballo. Las membranas fueron diseñadas por una empresa estadounidense especializada en tensoestructuras, para ser confeccionadas e instaladas en Costa Rica. El trabajo colaborativo entre la empresa extranjera de ingeniería y la empresa de manufactura costarricense, continuó por varios años hasta culminar en 2004 con el diseño de la cubierta para las oficinas centrales de la empresa cementera Holcim, diseñadas por el arquitecto Bruno Stagno (Ver figura 2). Este proyecto recibió

reconocimiento a nivel mundial, ya que aplicaba no sólo tecnologías constructivas de vanguardia, como las tensoestructuras, sino que también incorporó principios bioclimáticos con un lenguaje arquitectónico tropical contemporáneo.



Figura 2. Edificio Holcim. Santa Ana, Costa Rica.

Posteriormente, la industria turística y los desarrolladores de centros comerciales empezaron, a descubrir las tensoestructuras como lenguaje representativo para sus proyectos. Varias tensoestructuras de pequeña y mediana escala, se construyeron a partir de este momento, concentrándose la mayor parte en el Gran Área Metropolitana y los centros turísticos costeros. Algunos ejemplos son la cubierta de la entrada al Centro Comercial de Guadalupe San José (Ver figura 3) y el acceso del Cine *Imax™* en el complejo Avenida Escazú (Ver figura 4). Así como en la costa del Pacífico, la Plaza



Figura 3. Centro Comercial Guadalupe. Goicoechea, Costa Rica.

Comercial Tamarindo Heights, compuesta por una serie de estructuras cónicas. En el Hotel Reserva Conchal también se optó por una estructura conoidal como protección solar en la cancha de golf. Varias otras estructuras de menores dimensiones se han construido también en domicilios privados.

El intercambio académico entre la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica (UCR) y la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en Barcelona, también marco una pauta importante en la historia de las tensoestructuras en Costa Rica. Con charlas, cursos e intercambios estudiantiles promovidos por la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica e impartidos por el profesor Ramón Sastre de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAV). Gracias a esta colaboración se impulsó la transferencia de conocimiento sobre las tensoestructuras, con tal impacto que a partir del 2008, las estructuras tensiles fueron no solo fabricadas sino también diseñadas en Costa Rica, lo que previamente no sucedía.



Figura 4. Avenida Escazú. Escazú, Costa Rica.

Proyecto académico: Refugio Tropical

Uno de los proyectos de producción costarricense fue el Refugio Tropical, que se realizó en el recinto Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, durante la semana universitaria de 2010, y nuevamente en 2011. A raíz de la iniciativa del autor, se realizó un taller con charlas y ejercicios prácticos para introducir la tecnología constructiva de

las estructuras tensiles a un grupo de estudiantes de arquitectura, con el fin de ampliar el conocimiento sobre sistemas constructivos alternativos e innovadores. El taller, que se programó para cinco días, culminó con la construcción de un pabellón, en el participó activamente un grupo de estudiantes. En la primera fase del seminario, se dieron charlas y ejercicios que tenían como objetivo principal introducir los principios y procesos de diseño, fabricación e instalación de cubiertas de membrana. Varios invitados, expertos en el tema, compartieron sus proyectos y conocimientos. También se realizaron varios ejercicios explorando diferentes tipos de maquetas y métodos de búsqueda de la forma, como también sesiones de introducción a software especializado.

La segunda fase del seminario, buscó el acercamiento práctico a la construcción de tensoestructuras por medio de un proyecto real de pequeña escala. Para la realización de este proyecto fue decisiva la colaboración de la industria privada, que donó los materiales y confeccionó la carpa según las especificaciones elaboradas, para posteriormente ser instalado por los estudiantes.

Descripción del proyecto

133

El diseño de la estructura fue pensada como una construcción experimental y temporal, que pudiera albergar diferentes actividades, desde pequeñas exposiciones hasta conciertos y reuniones o como un punto de atracción, o espacio de resguardo contra el sol y la lluvia. Después de una breve definición de los requerimientos espaciales, materiales y climáticos, se llevó a cabo un proceso de búsqueda de formas con telas elásticas y luego la propuesta fue dibujada y calculada digitalmente en el programa WinTess3⁴. La forma se generó a partir de una base pentagonal con dos vértices bajos y tres elevados, sostenidos por mástiles de diferentes alturas (2.5m - 4.5m). Las dimensiones aproximadas fueron 5.5m x 8.5 y la membrana abarca un área proyectada de aproximadamente 20m², con un área de superficie extendida de 22m² (Véase imagen 5). Posteriormente, se realizó el despiece de la membrana a partir de los patrones de cortes proyectados, se fabricaron maquetas de papel a escala (Ver figura 6). Las maquetas se utilizaron para el estudio solar en un heliodón del Laboratorio de Arquitectura Tropical (LAT) de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de

⁴ El programa WinTess3 es la última versión de un software especializado para la búsqueda de la forma de membranas estructurales. El programa incluye herramientas para el cálculo estructural, análisis y generación de patrones de corte. El Programa fue creado por Román Sastre, profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña. Véase: <http://tecno.upc.edu/wintess/manual/>

Costa Rica para comprobar la efectiva proyección de sombra. Este estudio sirvió como método paralelo para convalidar los análisis ambientales, simulados digitalmente en el programa Ecotect® Software de Diseño de Construcción Sustentable⁵ y sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia del diseño ambiental (Ver figuras 7 y 8).

En la escogencia de los materiales, se optó tanto por elementos que fueran disponibles y económicos (como barras de bambú para los mástiles), así como constructivamente efectivos y seguro (por ejemplo placas de acero para los anclajes, grilletes, tensores y cuerdas de nylon). La lona, de tejido de polyester cubierto con PVC, unido con sellados de alta frecuencia, fue confeccionada y donada por la empresa Eurotoldos S.A. Las barras de bambú para los mástiles fueron obtenidas en el mismo recinto universitario. Se escogió el bambú por ser un material liviano, resistente, renovable, biodegradable, además de ser una opción económica. Las barras fueron cortadas y perforadas en sitio, para luego calzar las placas de anclaje que fueron atornilladas con pernos transversales. Según la orientación óptima del estudio solar, se levantaron los mástiles y la lona del Refugio Tropical, con ayuda del grupo de estudiantes y bajo la supervisión del personal técnico de la empresa Eurotoldos S.A., (Ver figura 9). Después de conectar todos los cables y luego de varios ajustes se tensó a la estructura y quedó instalado el Refugio Tropical (Véase imagen 10). El Refugio Tropical fue diseñado y planeado como una estructura temporal y después de dos meses fue desmontada y guardada para futuros eventos universitarios.

134

Conclusiones

A pesar de su pequeña escala y baja complejidad geométrica y constructiva, la estructura para el Refugio Tropical cumplió con su objetivo de ofrecer la posibilidad, a través de la experimentación y participación, de dar a conocer a los estudiantes de arquitectura, una tecnología constructiva alternativa. El proyecto, como ejercicio académico, cumplió con entrelazar el conocimiento teórico con la experiencia práctica, así como presentar al público, las posibilidades que ofrecen las tensoestructuras. Fue positiva la colaboración e interacción entre la academia y la empresa privada, no sólo porque permitió a los estudiantes tener una visión más concreta sobre la fabricación de la

5 Autodesk® Ecotect® Analysis, software de análisis de diseño sustentable, ofrece una amplia gama de simulaciones y análisis de funcionamiento energético que permite mejorar el rendimiento de los edificios existentes o en el diseño de otros nuevos, siendo una útil herramienta al momento de diseñar, ya que va desde modelos generales del edificio hasta el detalle. Permite integrar los análisis de energía, agua y emisiones de carbono, con herramientas que permiten visualizar y simular el comportamiento del edificio en el contexto de su medio ambiente.

membrana, además permitió a la industria, presentar sus servicios y tecnologías como una alternativa ante futuros arquitectos y diseñadores. Por razones de seguridad y de tiempo, no fue posible involucrar a los estudiantes en el proceso de confección, corte y soldadura. Posteriormente, el Refugio Tropical fue presentado en el concurso de proyectos estudiantiles en el IV Simposio Latino Americano de de Tensoestructuras en Montevideo, Uruguay, 2011.

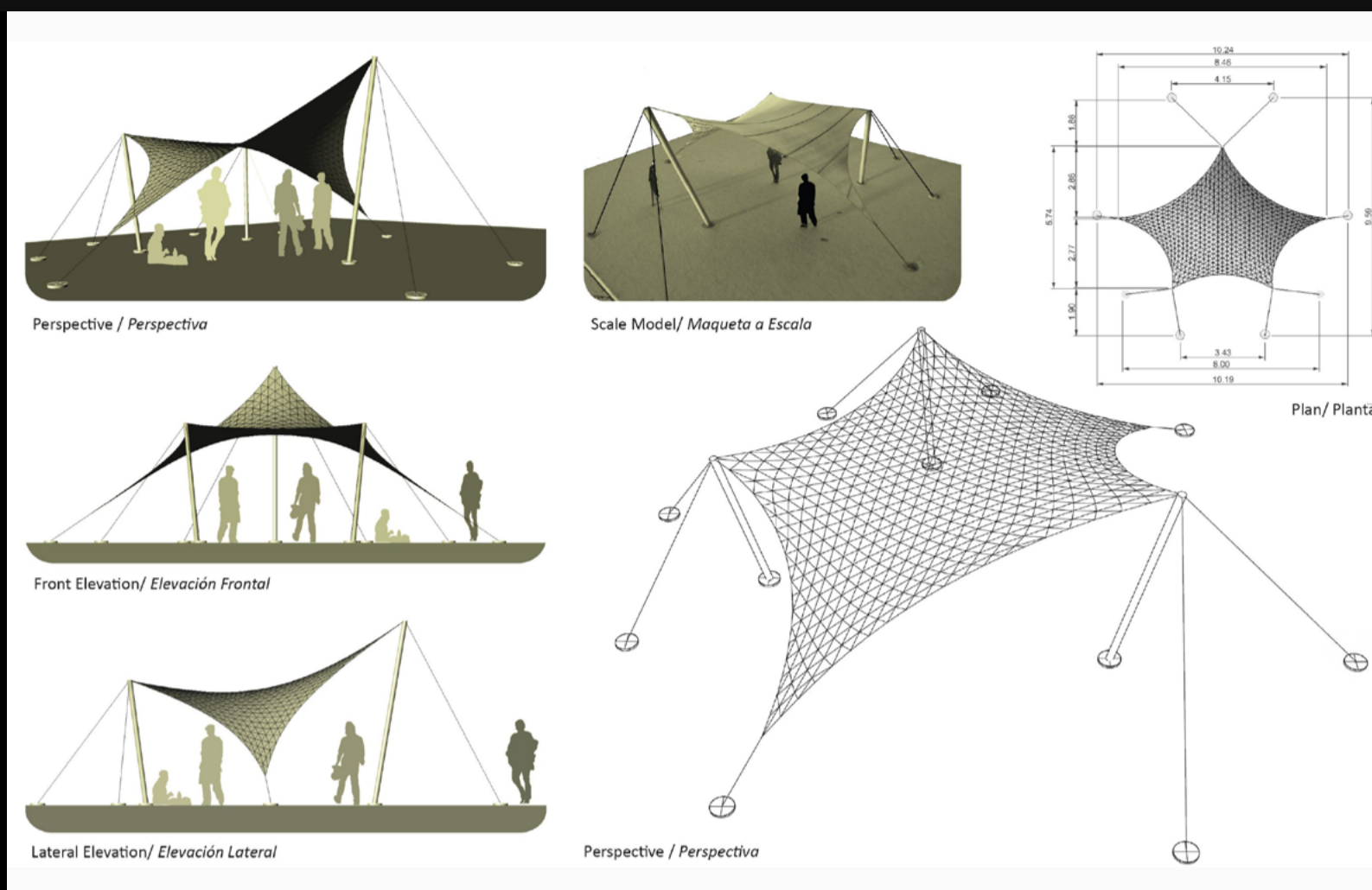


Figura 5. Dibujos arquitectónicos y maqueta

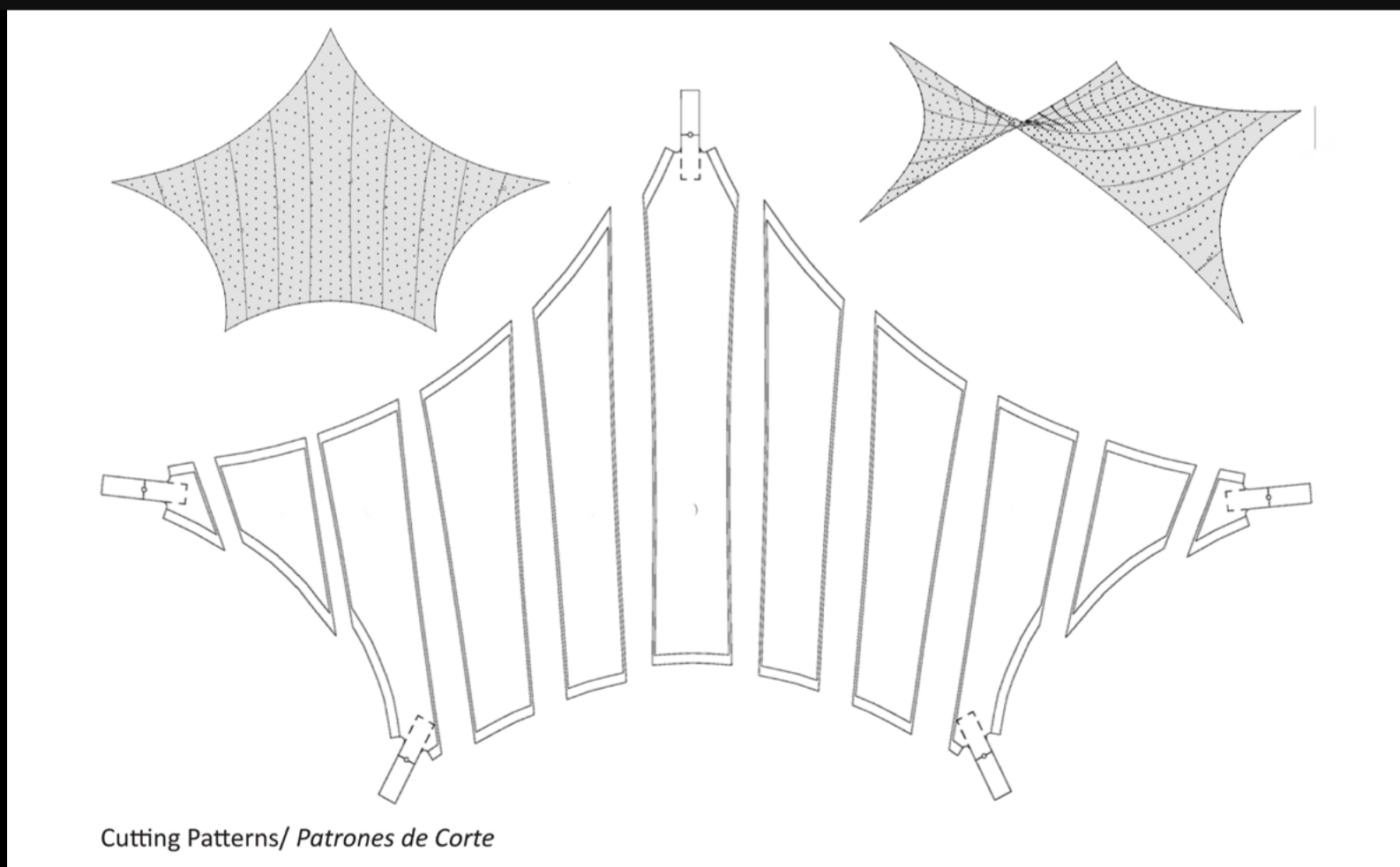
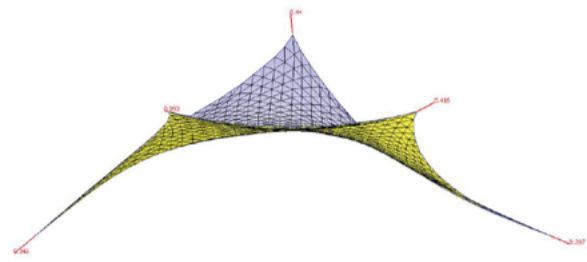
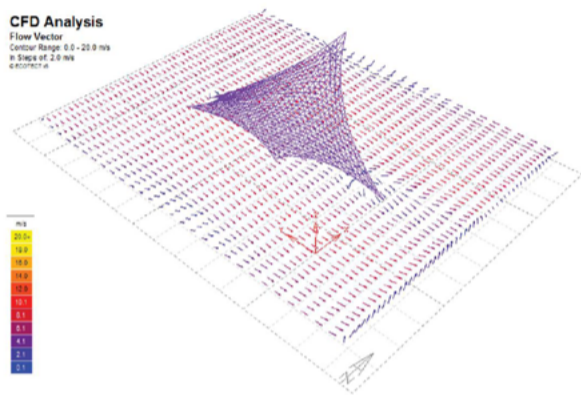


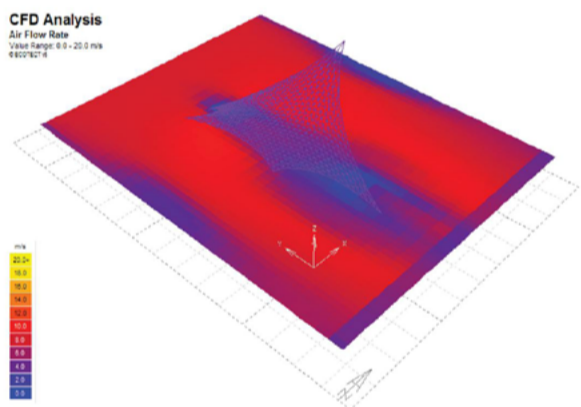
Figura 6. Planos de corte.



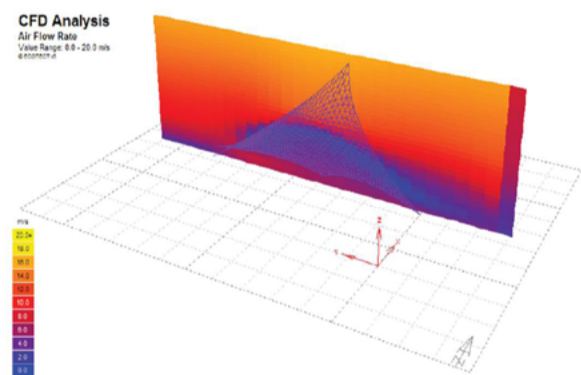
Calculation of wind loads and maximum deformations
Calculo de cargas de viento y deformaciones máximas



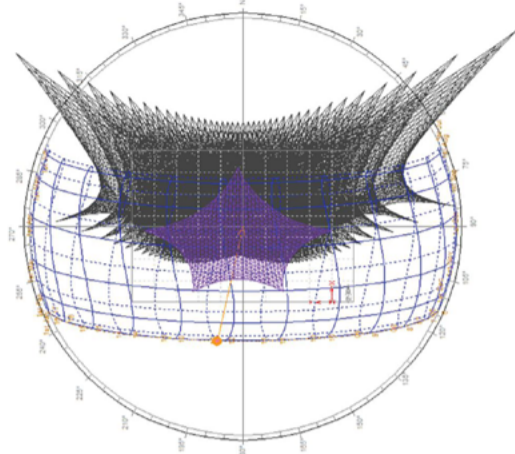
Air flow analysis, flow vectors
Análisis de flujo de viento, vectores de flujo



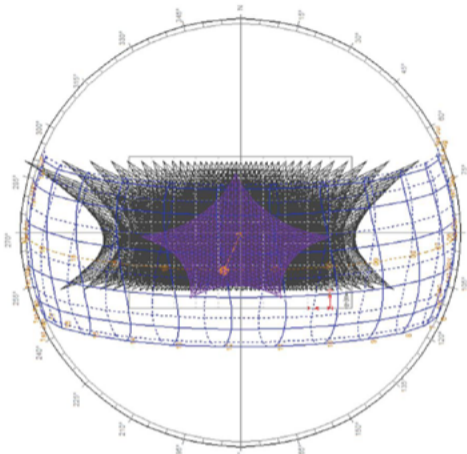
Air flow analysis, wind speed, Plan
Análisis de flujo de viento, velocidad de viento, Planta



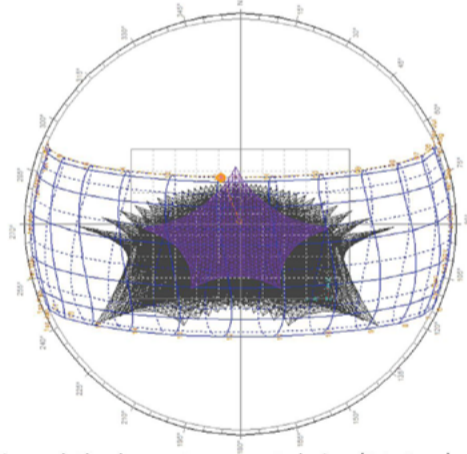
Air flow analysis, wind speed, Section
Análisis de flujo de viento, velocidad de viento, Sección



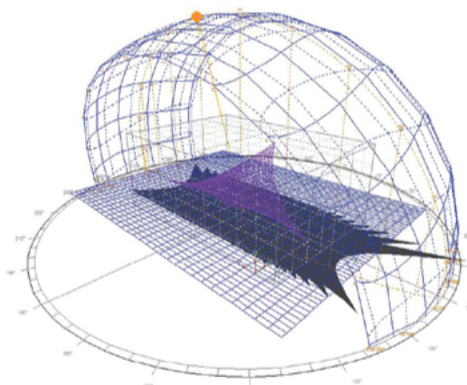
Projected Shadows, Winter Solstice (21. Dec.)
Sombras proyectadas, Solsticio de Invierno (21. Dic.)



Projected Shadows, Equinoxes (21. Mar/21. Sep.)
Sombras proyectadas, Equinoccios (21. Mar/21. Sep)



Projected Shadows, Summer Solstice (21. Jun.)
Sombras proyectadas, Solsticio de Verano (21. Jun.)



Projected Shadows, Latitude 10°, North Hemisphere
Sombras proyectadas, Latitud 10°, Hemisferio Norte

Figura 7. Análisis de vientos.

Figura 8 derecha. Análisis solar.



Figura 9. Proceso de instalación.



Figura 10. Vista del proyecto terminado.

Este artículo forma parte de:

REVISTARQUIS

Para más información, artículos, e instructivo de
publicación, visite: