

estructuras

Sombras textiles

equilibrio en tensión

Sombras textiles

ISSN 2718- 8272

Año 4 - Nº 8 - Noviembre 2021
EDICIÓN ESPECIAL



Universidad
Nacional
de Córdoba



FAUD
Facultad de Arquitectura,
Urbanismo y Diseño

TIDE

Sombras textiles

equilibrio en tensión

En este número:

Coordinadoras de contenido

Julietta Mansilla
María del Carmen Fernández Saiz

Editorial

Carolina Ponssa

Autores

Julietta Mansilla
María del Carmen Fernández Saiz
WAGG / TECKTO Arquitectura Textil
Diego Achurra, Carla Cortés
Ramón Sastre
Alicia Brizuela Cáceres
Omar Fabrisio Avellaneda Lopez

Colaboradores

WAGG / TECKTO Arquitectura Textil
Arqtex LTDA.
Pablo Lista, Maximiliano Torchio, Diego Veglio y
Marcos Vega Ojeda

Croquis y gráficos

Oswaldo Ferreyra
Sergio Benejam y Matías Solís
Lucía Belén Granero Spada, Macarena Moreale,
Belén Moll, María Belén Peralta

Fotografía

WAGG Arquitectura Textil
Aryeh Kornfeld
Pablo Lista, Maximiliano Torchio, Diego Veglio y
Marcos Vega Ojeda

Las opiniones vertidas en los artículos son responsabilidad de los autores; por tanto, los puntos de vista expresados no necesariamente representan la opinión del Comité de referato de esta revista.

© Todos los derechos reservados. Todos los materiales publicados en **Estructuras** se encuentran protegidos por copyright y otras leyes de la propiedad intelectual y de los pactos internacionales.

No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares de **Estructuras**.

estructuras

Año 4 - N° 8 **Sombras textiles, equilibrio en tensión** - Noviembre 2021

ISSN N° 2718- 8272

Coordinación General

Silvina Prados

Diseño Gráfico y Edición

Yohana Cicaré

Comité de referato

Docentes TIDE-FAUD: **Silvina Prados** (Prof. Titular Estructuras 2B), **María del Carmen Fernández Saiz** (Prof. Titular Estructuras 4), **Raquel Fabre** (Prof. Titular Estructuras 1A), **Gabriela Culasso** (Prof. Titular Estructuras 1B), **Gustavo González** (Prof. Titular Estructuras 3B), **Carolina Ponssa** (Prof. Adjunta Estructuras 2B), **Gabriela Asis** (Prof. Titular Estructuras 2A), **Cecilia Nicasio** (Prof. Adjunta Arquitectura 6C y 6D- Asesora Estructuras)

Evaluadores Externos: **Daniel Quiroga** (Prof. Titular Facultad de Ingeniería-UNCuyo), **Horacio Saleme** (Prof. Titular FAU- UNT) **Sara Gonorazky** (Prof. Consulta FAUD-UNC) **Daniel Moisset de Espanés** (Prof. Emérito FAUD-UNC), **Isolda Simonetti** (Prof. EDIEST-FAUD-UNC)

Dirección de edición:

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.
Av. Vélez Sársfield 264. 5000. Córdoba. Te. +54 0351 4332091. Correo electrónico:
revistaestructuras@faud.unc.edu.ar

EDITORIAL

Diseñar sombras, incentivar su exploración, estimular el uso racional y sostenible de los sistemas constructivos livianos es quizás, el desafío más grande que presenta esta entrega.

Las estructuras textiles forman parte desde la antigüedad de nuestra respuesta arquitectónica frente a las inclemencias del tiempo. Son la expresión más pura de un sistema estructural eficiente que permite cubrir grandes luces con muy poco material y gran flexibilidad. El desafío, desde aquella época, sigue siendo potenciar este sistema constructivo liviano, donde la estabilidad de la obra se genera a partir de la forma y un cuidadoso diseño a tracción de sus componentes.

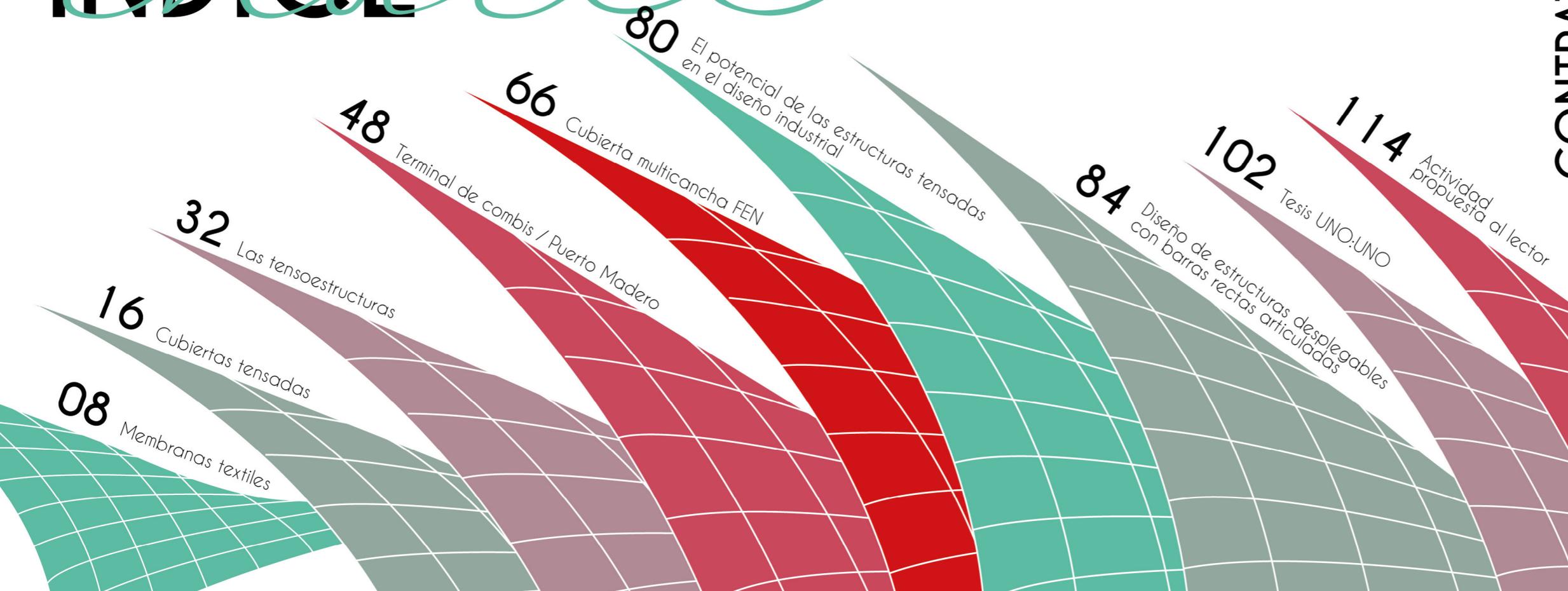
Proyectualmente podemos decir que, en este tipo de arquitectura, la estructura es el instrumento con el que se materializa la idea del diseñador. El aporte del presente número de la revista Estructuras va en esa dirección: colaborar con diseñadores en el manejo conceptual de la técnica, relevar materiales disponibles, difundir programas de exploración geométrica o de cálculo de solicitaciones, analizar ejemplos, y reflexionar interdisciplinariamente sobre las posibilidades de diseño en nuestro medio.

Los autores, un excelente equipo multidisciplinario, docentes e investigadores del Taller de Investigación de Estructuras (TIDE) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba en conjunto con profesores de la Universidad Politécnica de Cataluña, el Grupo de Investigación SMiA (Structural Morphology in Architecture), proyectistas chilenos y empresas locales, nos proponen una recorrida por las características del sistema constructivo, el análisis de obras con tensoestructuras y estructuras desplegables. Asimismo, incorporan al recorrido la exploración de nuevas escalas en el Diseño Industrial, la experiencia de construir en escala real un trabajo de tesis y nos sorprenden, finalmente, con una interesante actividad de cierre.

En síntesis, una propuesta que invita a profundizar en un tema poco conocido, a investigar, reinventar y explorar conceptos de morfología espacial, así como a crear nuevos conceptos en el diseño y en la arquitectura.

Arq. Carolina Ponssa
Prof. Adjunta Estructuras 2B-FAUD – UNC

ÍNDICE *ndice*



CONTRATAPA

Arq. María Edel Ruata

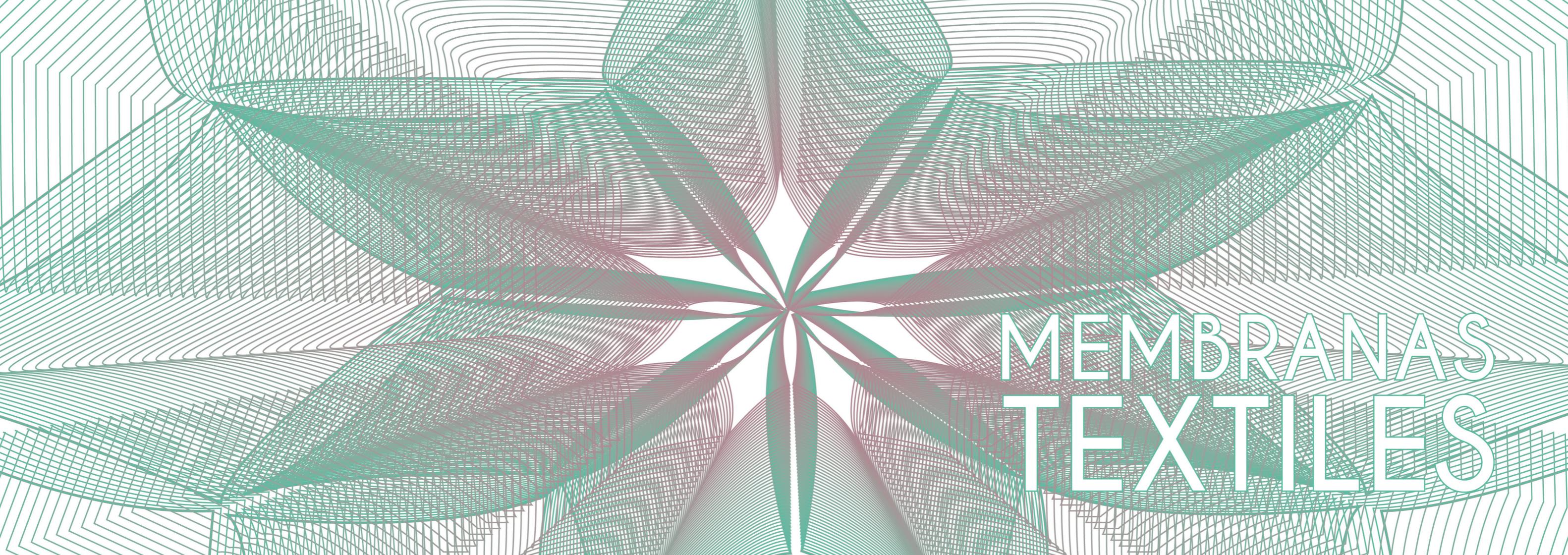
Arquitecta egresada de la Universidad Nacional de Córdoba. Especialista en Entornos Virtuales de Aprendizaje, título otorgado por la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura y Virtual Educa Argentina.

Ingresa a la docencia universitaria en la facultad de arquitectura en el año 1980, como jefe de trabajos prácticos en la cátedra Estructuras IV. Posteriormente se incorpora como jefe de trabajos prácticos a la cátedra Estructuras IB. Fue profesora adjunta de Estructuras IB y finalmente profesora titular de la misma cátedra hasta su retiro en el año 2015. Se desempeñó como profesor asistente del Taller de Investigación de Diseño Estructural, T.I.D.E., participando en el dictado de diversas materias electivas de la especialidad, como Estructuras de Fundación, Estructuras de Madera y Patología de las Estructuras.

Investigadora categorizada SeCyT, dentro del equipo del T.I.D.E. trabajó a partir del año 1995 en numerosos proyectos de investigación, especializándose en el uso de softwares para la modelización y diseño de estructuras, cuyos resultados fueron presentados y publicados en eventos y congresos nacionales e internacionales.

Asimismo, trabajó dentro del área de modelización estructural en diversos proyectos de extensión y asesoramiento realizados por el T.I.D.E., entre los que se destacan los estudios de comportamiento estructural y patologías de las Iglesias Jesuíticas de la Compañía de Jesús, de Alta Gracia y de Jesús María, y el diseño y construcción de las Esculturas Urbanas de Antonio Seguí.

En el ámbito privado, colaboró con el estudio del Arq. Rosendo Dantas, en el desarrollo de modelos computacionales y verificación seccional de diversos proyectos, entre los que se destaca el anteproyecto de la estructura para el "Centro de Interpretación de Córdoba", actualmente sede del Archivo Histórico Provincial.

The background features a complex, symmetrical geometric pattern. It consists of numerous thin, overlapping lines in shades of teal and purple that radiate from a central point, creating a star-like or floral appearance. The lines are arranged in a way that creates a sense of depth and movement, with some areas appearing more densely packed than others. The overall effect is a vibrant, textured background.

MEMBRANAS TEXTILES

MEMBRANAS TEXTILES

Autoras:
Arq. María del Carmen Fernández Saiz
Arq. Julieta Mansilla

Las fotos de maquetas son de trabajos de estudiantes de la cátedra de Estructuras IV I FAUD I UNC
Las imágenes de obras fueron cedidas por WAGG I ARQUITECTURA TEXTIL (www.wagg.com.ar)
Gráficos: Sergio Benejam y Matías Solís

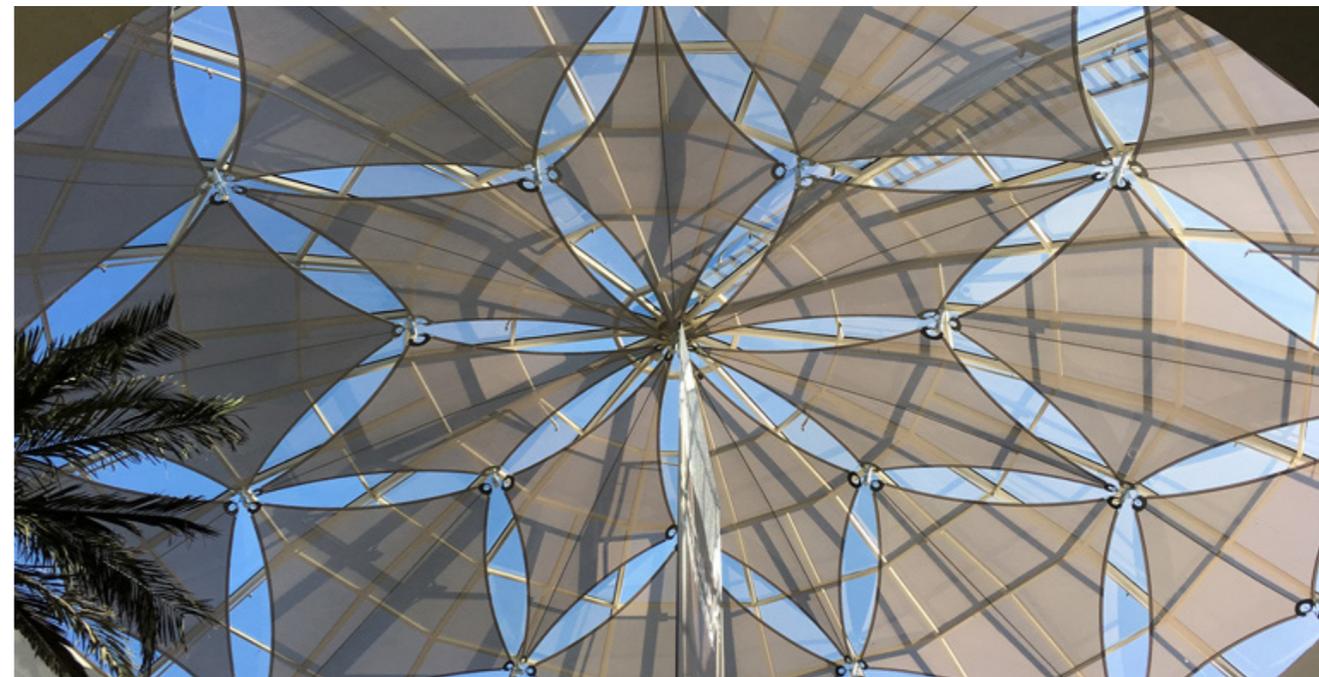
Efímero, liviano, emergente, adaptable al contexto, al sitio, a la función, etc., son características que sin duda representan a un tiempo actual donde el cambio es la constante y donde la velocidad y capacidad de adaptabilidad de los espacios están directamente relacionados con su tecnología.

Simultáneamente, se pretende buscar un menor impacto en el entorno y reutilizar estructuras obsoletas, dando respuesta a nuevas necesidades, donde la sustentabilidad atraviesa las propuestas, generando arquitecturas como organismos vivos, que pueden modificarse, crecer, montarse y desmontarse, según las necesidades y el uso.

Las tensoestructuras constituyen el sistema estructural más eficiente para cubrir grandes luces con el menor empleo



TERRAZA EDIFICIO DATASTAR | ESTUDIO ASZ ARQUITECTOS



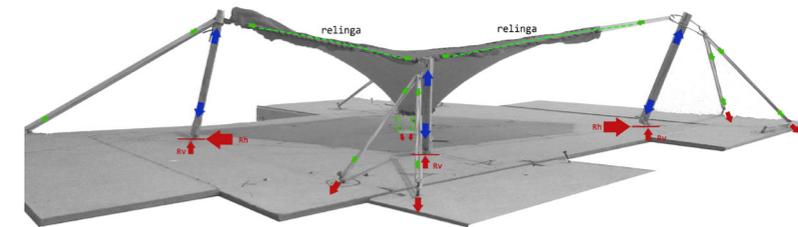
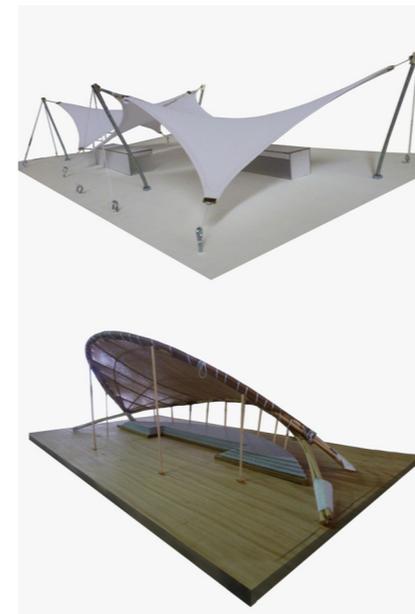
ALTO AVELLANEDA | CONTROL SOLAR CUPULA | ESTUDIO CIENFUEGOS

de recursos, ya que se logran a partir de delgadas telas y cables de acero trabajando a tracción pura, lo cual posibilita interesantes configuraciones geométricas necesarias para lograr la estabilidad de la forma.

Ofrecen también una alternativa de acondicionamiento climático para envolventes conformadas por grandes superficies vidriadas y constituyen un recurso de diseño, que permite definir diferentes morfologías, texturas, ritmos y lenguajes.



La característica principal de las estructuras de tracción es la inestabilidad de la forma, ya que sus elementos constitutivos no poseen rigidez flexional y deben adaptar su geometría al funicular de las cargas actuantes. Como recurso para contrarrestar esta condición, las estructuras de membranas poseen formas de doble curvatura, conformadas por una doble familia de hilos o cables con curvaturas opuestas, de manera que, para cualquier dirección de las cargas aplicadas, se produzcan siempre tensiones de tracción en la superficie. Asimismo, para garantizar el trabajo a tracción, será necesario aplicar una tensión inicial igual o mayor a las que generen las cargas variables que pudieran aflojar o relajar el sistema. Los elementos básicos de un módulo tipo de tensoestructura son, la membrana textil, los cables de borde llamados relingas (tensan la tela y transmiten esfuerzos a los apoyos materializados por puntos altos y bajos, de modo de generar una superficie de doble curvatura), los mástiles y los tensores que configuran los soportes o apoyos que transfieren las cargas a las fundaciones.



ELEMENTOS DE UN MÓDULO BÁSICO DE TENSOESTRUCTURA

En los puntos altos, los apoyos tipo, están conformados por un mástil a compresión y dos vientos o tensores que juntos, deberán equilibrar el momento de vuelco generado por el tiro horizontal de los cables y la membrana. Estos puntos altos también pueden materializarse con arcos o fijando las telas a construcciones existentes capaces de resistir las sollicitaciones generadas por la estructura.



APOYOS EN PUNTOS ALTOS: MÁSTILES Y ARCOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN

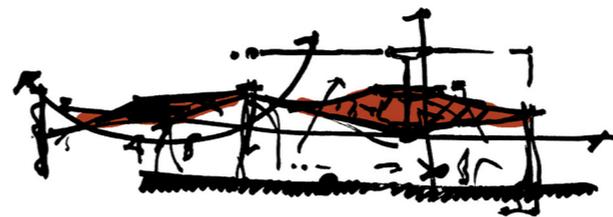
En los puntos bajos, se requieren elementos de anclaje o fijación vinculados a fundaciones que deberán resistir el arrancamiento que generen los cables tensores y relingas que llegan a ellos. Son los apoyos que anclan la estructura y garantizan que la membrana esté trabajando completamente a tracción. En función del tipo de suelo y de las magnitudes de las fuerzas que deberán resistir, existen diferentes soluciones de fundaciones a tracción, como grandes volúmenes de hormigón que equilibran la fuerza de arrancamiento con su peso propio, o mediante fundaciones profundas con pilotes que trabajan por fricción.



ACUARIO DEL RIO PARANÁ | DINALES SA | WAGG | ARQUITECTURA TEXTIL
ANCLAJES EN PUNTOS BAJOS MEDIANTE TENSORES SOLICITADOS A TRACCIÓN

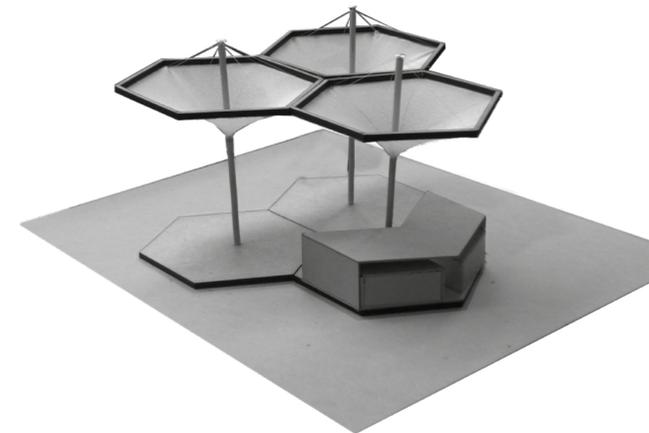
Las tensoestructuras adquieren estabilidad al ser sometidas a tracción, por lo tanto, las uniones desempeñan un rol protagónico ya que, deberán garantizar la correcta transferencia de dichos esfuerzos de un elemento a otro.

A partir de la combinación de varios módulos tipo y según la posición de los apoyos altos y bajos, es posible generar diferentes configuraciones geométricas en respuesta a condicionantes funcionales, de implantación, etc.

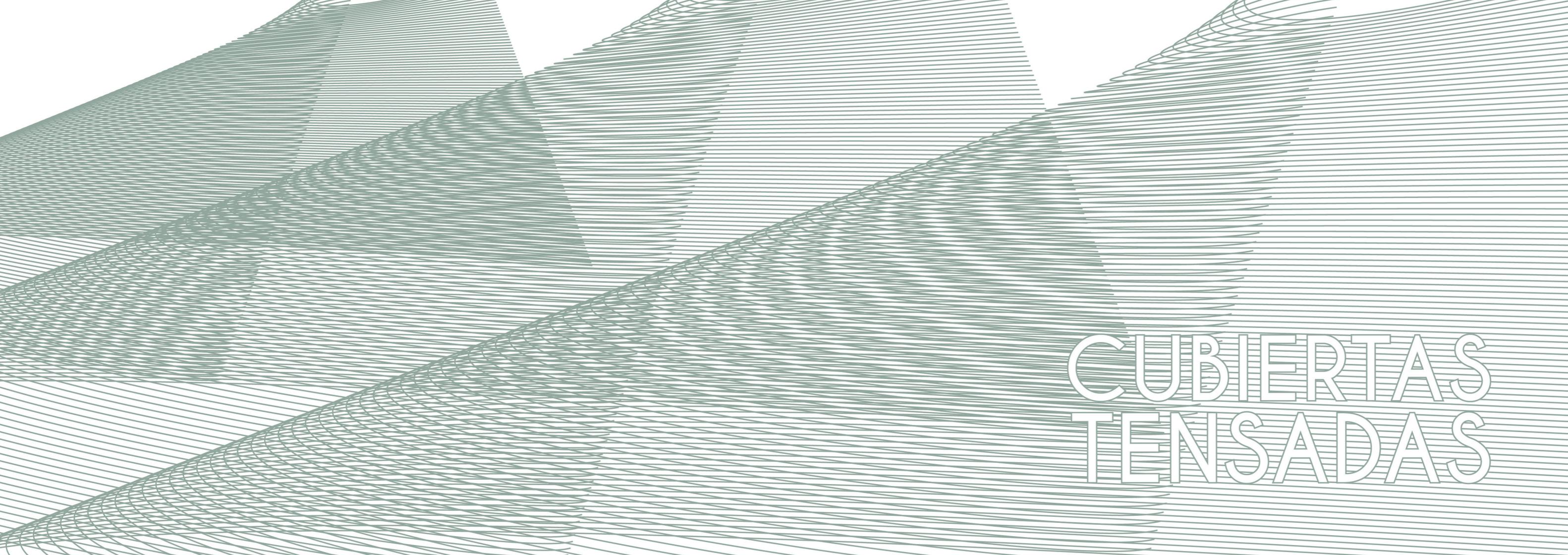


En esta búsqueda formal es necesario tener en cuenta las proporciones en planta de los espacios a cubrir e incorporar los módulos o elementos necesarios, de manera de garantizar que siempre se verifique la doble curvatura en la membrana, evitando zonas planas en la cubierta que puedan generar grandes deformaciones o acumulación de agua de lluvia, con riesgos estructurales y constructivos.

Como se mencionó, el principio resistente de las tensoestructuras se sustenta esencialmente en la forma que adoptan las membranas en conjunto con los elementos de apoyo, al ser sometidas a un determinado sistema de cargas. En este sentido, adquiere singular importancia la búsqueda de la forma estructural funicular en el proceso de diseño. El modelado y diseño de estas estructuras parte de un proceso de aproximación a la forma más eficiente que garantice el trabajo a tracción del sistema en el proceso de transferencia de cargas hasta los apoyos.



En este contexto, la estructura se convierte en una herramienta prioritaria para el diseño, integrando la forma arquitectónica y la función resistente.



CUBIERTAS
TENSADAS

CUBIERTAS TENSADAS

Autores: WAGG Arquitectura Textil / TECKTO Arquitectura Textil
Imágenes: WAGG Arquitectura Textil
Edición y diagramación: Arq. Julieta Mansilla

Una cubierta tensada es una estructura ligera, compuesta por una membrana textil pretensada vinculada a una estructura de anclaje, generalmente por medio de cables, permitiendo desarrollar soluciones creativas para resolver espacios de cualidades no convencionales.

Definición Técnica

La mayor parte de las estructuras tensadas derivan de tres formas básicas: el paraboloide hiperbólico, el arco o el conoide.

Las estructuras de membranas tensadas resisten eficientemente las cargas a las cuales están solicitadas debido a, la resistencia formal y la pretensión aplicada.

La resistencia formal está dada por la doble curvatura negativa, donde los centros de curvatura de ambas direcciones principales, se originan en caras opuestas de la superficie. La pretensión interna aplicada mantiene al sistema en equilibrio estático, de manera tal, que cuando se aplica una carga externa, una de las direcciones principales resistirá la carga mientras que, la dirección opuesta, ayudará al sistema a mantener la estabilidad, es decir que la tela actúa biaxialmente.

Componentes del Sistema

Membranas y cables materializan los principales componentes del sistema.



Las primeras, constan de una base textil, la cual le da la resistencia a los esfuerzos estructurales y la flexibilidad necesaria para adaptarse a la forma, con dobles curvaturas, garantizando la resistencia a las cargas gravitacionales y de succión por los vientos. Los cables refuerzan la membrana en sus bordes y materializan el nexo entre la membrana y los herrajes de fijación y anclaje a las bases.

1. Membranas

• Tela:
Las telas constituyen un material compuesto, cuyas partes componentes son:

- Tejido
- Coating o cobertura
- Top coat o acabado superficial

La base está formada por hilados que soportan los esfuerzos estructurales, y los revestimientos son elementos que protegen al tejido de los agentes externos.

• Bordes:

Los bordes pueden ser flexibles o rígidos.

- Bordes Flexibles: consisten generalmente en un cable que corre a través de un "doblamiento" en el borde de la tela. En el caso de membranas más grandes el borde es reforzado con chapones de borde que resisten los esfuerzos tangenciales. Otra posibilidad es el uso de un cable externo conectado a los bordes y tomado a la membrana por una serie de planchuelas de acero.

- Bordes Rígidos: en estos casos la membrana está prensada entre dos planchuelas que le dan una fijación continua. La utilización de este tipo de bordes dependerá de los condicionantes funcionales y/o de las características de los bordes del sitio en el cual se inserta la membrana.



• Puños:

Resuelven el punto de unión entre dos bordes. Los problemas concernientes a la fijación de un paño de la membrana en estos puños dependen principalmente de tres factores:

- de la geometría del puño
- del tipo de borde, flexible o rígido
- de la magnitud de las fuerzas tangenciales



2. Cables

Los principales elementos de soporte de bordes y aristas en las estructuras tensadas livianas son los cables de alambres de acero. Los más usuales son los cables trenzados.





3. Estructuras de Anclajes

El soporte de las estructuras livianas es usualmente diseñado en acero. Sin embargo, aluminio, madera laminada y hormigón armado son materiales alternativos posibles a utilizar. A su vez, éstas necesitan vincularse a fundaciones de hormigón armado o anclarse mediante bulones a una estructura estable y resistente, para soportar las cargas.

ATRIBUTOS

Los atributos que caracterizan a las membranas tensadas pueden agruparse en:

- Distinción Formal

Las membranas textiles permiten desarrollar soluciones creativas para resolver espacios de cualidades no convencionales. La identidad formal que ofrece debe también ser considerada al comprender la imagen distintiva que esta tecnología aporta.

- Ligereza

Cuando el objetivo de diseño está esencialmente focalizado en la protección contra la lluvia y la incidencia directa de los rayos solares, las soluciones se traducen en sistemas esencialmente livianos, flexibles en su geometría permitiéndoles adaptarse a las orientaciones más convenientes.

- Síntesis de Elementos

Las grandes cargas adicionales, provocadas por el viento, obligan a resolver un sistema estructural resistente. Este sistema conforma un edificio con una mínima relación entre masa construida y volumen espacial, es decir, en un mínimo espesor se concentran estructura y cerramiento, los dos componentes esenciales del sistema que define el espacio. Las membranas tensadas son estructuras de tracción pura. Esto las convierte en los sistemas más económicos teniendo en cuenta la relación luz a cubrir – peso propio.

- Sistemas Dinámicos

Cuando las condiciones externas son cambiantes, la utilización de sistemas móviles, permite la adaptación a las distintas condiciones ambientales. Mediante dispositivos mecánicos puede lograrse una alta flexibilidad funcional.

- Luminosidad

La translucencia es una cualidad característica de los sistemas de membranas y proporciona grandes ventajas estéticas y económicas. El aprovechamiento de la luz natural para la ambientación interior, permite reemplazar la iluminación artificial durante el día, economizando recursos energéticos. La envolvente se utiliza como FILTRO y NO COMO BARRERA pudiendo regular su “permeabilidad” a los agentes externos. También es importante tener en cuenta la apariencia luminosa nocturna desde el exterior y las reflexiones posibles a realizar arrojando luz sobre las membranas.

- Sección Espacial

La tipología formal genera naturalmente una sección espacial que permite el movimiento o convección de las masas de aire. El adecuado diseño y disposición de aberturas tiene como objetivo lograr la ventilación que implica la consecuente circulación y renovación del aire.

- Captación de Energía

Algunas membranas permiten el paso de la radiación solar que atraviesa su superficie, penetrando al interior, donde el calor es absorbido y almacenado por los elementos internos, contribuyendo al calentamiento del ambiente.

Generalmente la transmisión de luz varía entre un 5% y un 20% de acuerdo al tipo de material pero, además, existen materiales como es el caso del ETFE (Etileno-TetraFluoroEtileno) o los Mesh (material plástico de cloruro de polivinilo o PVC) que son totalmente transparentes.

- Disposición

Para aprovechar las ventajas que ofrece cada uno de los materiales disponibles, el cerramiento puede consistir en una combinación de distintas capas, cada una de las cuales cumple un rol específico, interactuando entre ellas. En otras palabras, las condiciones de confort interior se logran gracias a una estratégica disposición de los materiales garantizadas por un buen diseño.

VERSATILIDAD DE APLICACIÓN

Es muy amplio el espectro en el cual puede aplicarse el sistema de

membranas tensadas. La flexibilidad formal que caracteriza a las membranas les permite adaptarse a múltiples funciones:

- Áreas de exposición.
- Áreas para espectáculos.
- Ornamento urbano.
- Espacios para congresos y conferencias.
- Instalaciones deportivas.
- Instalaciones industriales.

Las cubiertas tensadas también pueden clasificarse según sean:

- Permanentes o temporarias

Cubrir espacios de edificios permanentes con membranas es hoy una opción posible, ya que, muchas de las características de esta tecnología, no sólo satisfacen las necesidades de confort, sino que aportan beneficios adicionales como la luminosidad, liviandad, etc. En el caso de las cubiertas temporarias, su fácil montaje y desmontaje hacen de las membranas “la” tecnología a utilizar en esos casos.

- Diseños estandarizados o particularizados

En base a las distintas alternativas de formas básicas disponibles, se elige la opción más adecuada para responder a las necesidades estructurales y funcionales del caso evaluado.

Esta metodología permite evitar el proceso de ajuste y elaboración y por lo tanto, lograr economía de tiempos y menores costos. Los diseños estandarizados son utilizados para espacios de mediana escala: cocheras, accesos, parasoles, ornamento urbano, semicubiertos de locales comerciales, etc. La combinación de unidades estandarizadas puede dar lugar a la creación de espacios de características distintivas y de mayor escala y complejidad formal.

En los casos de diseños particularizados se contemplan las condicionantes de cada caso específico, dando como resultado el modelo que responde en forma más ajustada al conjunto de variables puestas en juego.

El análisis de estas variables, entre las cuales tienen gran importancia las condiciones del entorno (orientación, exposición a la intemperie, etc.), permite lograr una mayor economía a partir del máximo aprovechamiento de los recursos (condiciones de borde, anclajes, etc.) y del análisis de la interrelación de los elementos que conforman el sistema (membranas, cables y estructuras de soportes), de manera que al actuar solidariamente, las dimensiones de cada uno puedan llevarse al mínimo dentro de los parámetros de seguridad.

- Semicubiertos

Las cubiertas tensadas son aptas para cubrir espacios de transición de cualquier escala, que deben protegerse de la lluvia o del sol. También semicubiertos como estaciones de peaje y cocheras son resueltos de esta manera.

- Gran escala

El control de la escala y el aprovechamiento de la luz encuentran en esta tecnología una respuesta acorde a espacios como centros comerciales, patios de comidas, lobbies de aeropuertos y hoteles, anfiteatros, etc.

Por ser las estructuras más económicas, teniendo en cuenta la relación que existen entre su peso propio y la luz a cubrir, resultan ideales para cubrir grandes luces. Un ejemplo de ello son las instalaciones deportivas que además aprovechan la luminosidad y la movilidad.

POSIBILIDADES FORMALES

Las cubiertas tensadas son generadas a partir de formas geométricas de doble curvatura. La combinación de las mismas permite una gran diversidad formal, ajustándose a las necesidades de cada espacio.

La mayor parte de las estructuras tensadas derivan de tres formas básicas: paraboloides hiperbólicos, arco y conoide.

Más allá del aspecto geométrico es importante tener en cuenta la espacialidad que se logra en cada uno de los casos.

Los paraboloides y sus combinaciones generan espacios de gran interrelación entre el interior y el exterior dada por la diferencia de altura de sus vértices.

Las tipologías de arcos y conoides generan, en general, espacios más contenidos, de bordes parejos en altura, con sectores enfatizados y jerarquizados por la aparición del vértice del cono o los arcos generadores de la forma.



PARABOLOIDE HIPERBÓLICO



ARCO



CONOIDE

Proceso de Materialización

El proceso de diseño de los sistemas de membranas tensadas ofrece un variado repertorio formal.

El análisis estructural debe estar completamente integrado al diseño arquitectónico y formal, ya que es la propia membrana la que mediante su configuración adquiere la capacidad de resistir los esfuerzos a que está sometida.

Las características esenciales de este proceso son:

- Diseño Tridimensional.
- Máximo aprovechamiento de la flexibilidad característica del material.
- Ajuste geométrico (doble curvatura) para lograr resistencia.

La totalidad de este proceso es realizado en WAGG Soluciones Tensadas a través de un software especializado. ForTen 2000 es un software integral comercializado por TSI de Italia, que contempla todas las tareas antes mencionadas.

El proceso de materialización se ordena en las siguientes etapas:

1. Búsqueda de la forma
2. Análisis técnico
3. Ingeniería de detalle
4. Producción
5. Montaje

1. Búsqueda de la forma

Para determinar la forma de una membrana tensada se combinan:

- El diseño tridimensional, ya que la membrana se

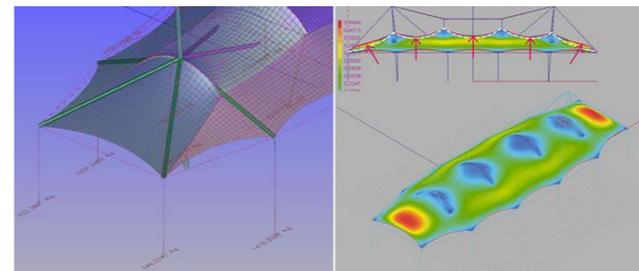
desarrolla como una superficie de doble curvatura, partiendo de alguna de las tres formas básicas (paraboloide hiperbólico, arco o conoide), que podrán repetirse y/o combinarse.

- Consideraciones sobre las condiciones de borde, su posición y tipo. Estas pueden ser CABLES (flexibles) o VIGAS (rígidas).

Mediante sistemas informáticos de generación de forma se establece la forma natural de equilibrio, obteniendo un modelo 3D, que responde a la serie de condicionantes ingresados como datos.



2. Análisis técnico



Una vez que fue planteada la forma tridimensional, entran en juego elementos técnicos más específicos.

Se incorporan datos sobre:

- Materiales
- Temporalidad
- Localización

Se obtiene información como:

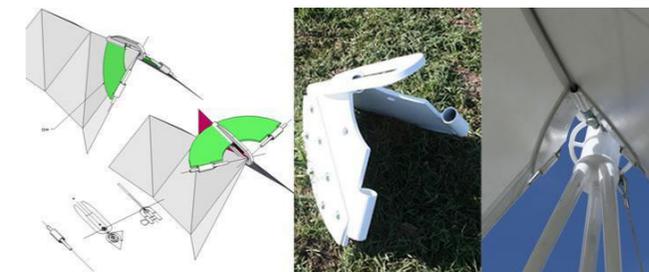
- Esfuerzos a los que estará sometida la membrana, que surgen de procesos de cálculo, que consideran succión de viento, peso propio de los materiales y otros factores (análisis de cargas).
- Simulaciones de las deformaciones para cada estado de cargas.
- Isocurvas, que permiten ajustar la superficie para optimizar el drenaje del agua de lluvia.
- Resultantes geométricas de los esfuerzos que sirven para dimensionar y definir cada uno de los elementos.

En esta instancia aún nos encontramos en el proceso de diseño debido a que la geometría de la membrana puede modelarse a través de la modificación de los distintos parámetros que la determinan (adición de cables estructurales o modificación de la tensión de los mismos o de la membrana).

Este es un proceso de evaluación que consiste en un “feedback” constante entre los datos técnicos obtenidos mediante el software y, los ajustes y decisiones del diseñador en base a sus conocimientos y experiencia para poder llegar a la forma definitiva de la cubierta (membrana y componentes).

El paso siguiente consistirá en confeccionar los planos de manufactura tanto de piezas estructurales, como de la tela.

3. Ingeniería de detalle

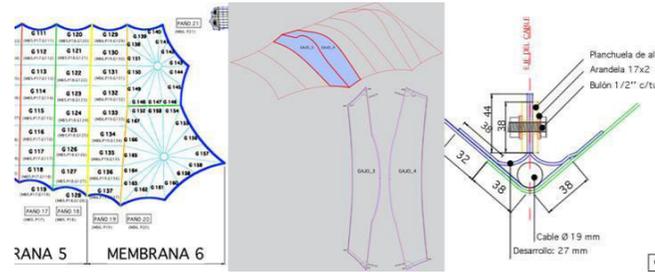


Después de llegar a una configuración estable, la estructura

es analizada bajo diferentes estados de carga para determinar las distintas deformaciones. En el análisis se incluyen tanto las membranas como el resto de los elementos del sistema, como son los cables, mástiles, vigas y anclajes, en un modelo 3D, que permite lograr un preciso dimensionamiento de esas partes.

4. Producción

- Manufactura de la membrana



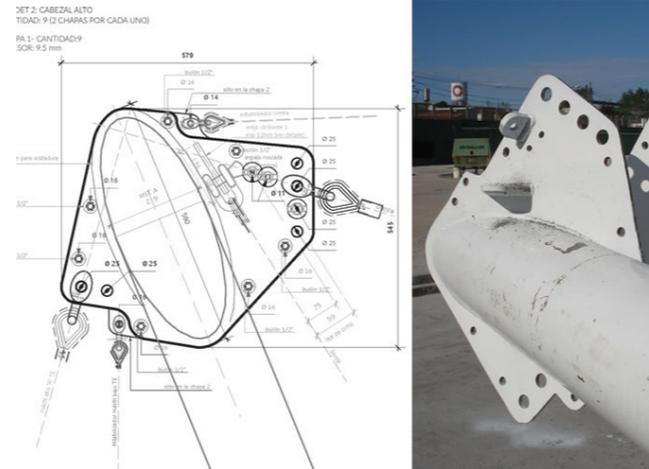
Una vez que se llegó a la forma definitiva, el proceso continúa con la definición de los paños que, unidos unos con otros, permitirán confeccionar una superficie tridimensional a partir de la combinación de superficies planas que se cortan del rollo de material elegido.

La forma y dimensión de los paños dependerá de la determinación de las líneas de unión entre paños, es decir que, el modelo tridimensional se fragmenta según los requerimientos, a través de líneas de soldadura o costura. Para pasar a la manufactura se individualizan los paños y se

determina su ubicación con respecto a la trama de la tela, según los condicionantes de cada caso, con los objetivos de economizar material y/o coordinar las direcciones de trabajo del paño con las del rollo de tela.

- Fabricación de las piezas estructurales

Al igual que las membranas, la fabricación de las piezas requiere de una rigurosa documentación. Cada pieza: columnas, bases, anclajes, tangones, cabezales, acometidas de cables, tensores, etc., se fabrican en base a materias primas o elementos adquiridos en el mercado, que verifiquen los requerimientos necesarios.



5. Montaje

El proceso de montaje se estudia desde el inicio del proyecto para asegurar la calidad final del producto, tanto en la ingeniería de detalle como en las previsiones logísticas. Finalmente, equipos de montadores capacitados, aseguran la correcta materialización del proyecto.



NOSOTROS

TECKTO | Arquitectura Textil

Miguel Arrambide 6135 | Granja de Funes | Córdoba | Argentina
<https://teckto.com.ar>

WAGG | Arquitectura Textil

Armenia 3263 (B1605CDW) | Munro | Buenos Aires | Argentina
<https://wagg.com.ar>



S
A TENSIO-
ESTRUCTURAS

LAS TENSOESTRUCTURAS

Autor: Dr. Arq. Ramón Sastre.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.

La palabra “tensoestructura” es una palabra inventada y quizá protegida, pero evidentemente tiene su raíz en Estructuras Tensadas, Estructuras Traccionadas, Estructuras Ligeras, Estructuras Textiles o Estructuras de Membrana, que son otras formas de denominar a una tipología arquitectónica que, si bien no se refiere siempre a exactamente lo mismo, nos lleva a un sistema constructivo cada vez más habitual.

Es muy común remontarse a siglos, o incluso milenios, para empezar a hacer un poco de historia de este sistema constructivo, pero la verdad es, lo que entendemos hoy en día por estructuras tensadas, empezó seriamente a mediados del siglo XX, tanto desde el punto de vista neumático (Walter Bird y otros) como colgante (Frei Otto y otros).

Entendemos por sistema constructivo la unión de materiales, técnicas y conocimientos necesarios para construir un cierto tipo de obras. En el caso que nos atañe, los materiales típicos son aquellos que soportan bien la tracción: cabos, cables, cintas, membranas,

films, etc. Las técnicas nos permiten la manipulación de estos elementos: terminales, tensores, patronaje, unión de patrones (cosido, soldadura...), etc. Finalmente, en cuanto al conocimiento, lo deberemos repartir entre la construcción (montajes muy rápidos comparados con la construcción tradicional) y el análisis estructural (cálculo no lineal, grandes deformaciones...).

Los materiales

Empecemos nuestra observación por los materiales. Hemos dicho que usamos principalmente (pero no exclusivamente) elementos que soportan bien las tracciones. ¿Por qué? Sencillamente porque con las tracciones no tenemos pandeo, y si no hay pandeo, la longitud (esbeltez) no es ningún problema y por lo tanto en luces importantes vamos a conseguir utilizar elementos ligeros que no serían posibles bajo esfuerzos de compresión o flexión.

| Por qué tracción? | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|-------------------------------------|--|--|
| | | | | | |
| 1m de longitud TRACCION | 1m de longitud COMPRESION | 1m de longitud FLEXION | 10m de longitud TRACCION | 10m de longitud COMPRESION | 10m de longitud FLEXION |
| CABLE diám.=6mm Seccion=0,21 cm2 | TUBO CIRCULAR Ø40.2 Seccion=2,39 cm2 | TUBO RECTANGULAR 30x60x4 Seccion=6,01cm2 | CABLE diám.=6mm Seccion=0,21 cm2 | TUBO CIRCULAR Ø200.5 Seccion=30,63cm2 | TUBO RECTANGULAR 80x160x4 Seccion=18cm2 |

SECCIONES NECESARIAS SEGÚN EL TIPO DE ESFUERZO

Por ejemplo, podemos comparativamente apreciar que, para soportar una carga de 1000 kg, la sección de acero necesaria es mucho menor si la pieza es solicitada a tracción, frente a lo requerido por compresión o por flexión. Esa ventaja aumenta con la longitud del elemento, por lo tanto, cuando se trata de cubrir grandes luces, la tracción emerge como el tipo de esfuerzo más interesante.

Si pensamos en elementos lineales, el cable es el elemento más común. Un cable es un elemento formado por uno o más cordones. Cada cordón se constituye por un conjunto de alambres finos arrollados. Los cordones, a la vez, se enrollan alrededor de un centro, generalmente de otro material más flexible, que conforma el alma. En arquitectura, el cable más habitual es el cable de acero, con alambres de acero inoxidable, o de acero galvanizado, según la necesidad de protección de los mismos frente a las agresiones del medio ambiente. Con el uso de programas de cálculo específicos, como por ejemplo el Win Tess, estas características pueden

asignarse a los distintos elementos modelados, seleccionándolos de la base de datos del software o bien, creando nuevos materiales con propiedades específicas si fuera necesario.

Manipular cables no es sencillo y normalmente implica el uso de guantes para protegerse las manos. Por ello como alternativa existe la cinta de carga (“webbing”) que es una cinta formada por hilos, habitualmente de fibras sintéticas (nylon, poliéster...). Estas cintas (parecidas a los cinturones de seguridad de un automóvil) son más fácilmente manipulables (plegado, sin guantes...) por lo que algunas veces son una alternativa interesante a los cables de acero, que también pueden seleccionarse de las bases de datos de los diferentes softwares o, en su defecto, definir nuevas, como en el caso de los cables.

Generación de Cables

Tipo de cable

Cable
 Cinta de carga
 Barra circular

Ø 14
 Sección 117.0

Material: Acero galvanizado (1x19)
 Acero inoxidable 1441.5
 Otros Carga Rottura 15.30 t
 Densidad 7.85

Código: Ø14GALV(1x19)
 Al principio de la base de datos
 Al final de la base de datos

Cancelar Guardar en la base de datos

MATERIALES PARA ELEMENTOS A TRACCIÓN: CABLES DE ACERO (BASE DE DATOS SOFTWARE WIN TESS)

Generación de Cables

Tipo de cable

Cable
 Cinta de carga
 Barra circular

Ancho 50
 Grosor 5
 Sección 250.0

Material: Poliéster
 Nylon 29.0
 Otros Carga Rottura 19.60 t
 Densidad 1.3

Código: WEB50x5POLVE
 Al principio de la base de datos
 Al final de la base de datos

Cancelar Guardar en la base de datos

MATERIALES PARA ELEMENTOS A TRACCIÓN: CINTAS DE CARGA (BASE DE DATOS SOFTWARE WIN TESS)

Generación de Cables

Tipo de cable

Cable
 Cinta de carga
 Barra circular

Ø 14
 Sección 153.9

Material: Acero galvanizado (S355)
 Acero inoxidable 2100.0
 Otros Carga Rottura 5.46 t
 Densidad 7.85

Código: Ø14GALV(S355)
 Al principio de la base de datos
 Al final de la base de datos

Cancelar Guardar en la base de datos

MATERIALES PARA ELEMENTOS A TRACCIÓN: BARRAS CIRCULARES (BASE DE DATOS SOFTWARE WIN TESS)

Para elementos a tracción cortos se pueden usar barras de acero. Las propiedades a estos elementos pueden asignarse de igual manera que para el caso de cables o cintas de carga, usando bases de datos disponibles en los softwares o definiendo nuevas propiedades.

Estas barras circulares son mucho más económicas que los cables, pero será necesario el cuidado en el transporte de las piezas y en la ejecución para evitar deformaciones en las mismas y garantizar su correcto desempeño como tensor.

Para cualquiera de los materiales usados en estos elementos sometidos a tracción, hay que pensar en los terminales, es decir, en las piezas que los conectan con el resto de la estructura. Habitualmente se usan piezas que provienen de la industria y de su correcta elección dependerá la calidad final de la estructura tensada.

Si hablamos de superficies tensadas nos referiremos a aquellas fabricadas con membranas, es decir elementos de poquísimo espesor y de gran resistencia a la tracción. Estas membranas textiles, conformadas por una base de tejido, son ortótropas (tienen dos ejes ortogonales entre sí) ya que sus propiedades mecánicas son, en general, diferentes en las direcciones de cada uno de esos ejes.

Un tejido es una superficie conseguida con la intersección de unos hilos (urdimbre y trama) entrelazados. Desde siempre se han usado tejidos de fibras naturales como lino, algodón, seda, lana, entre otros, consiguiendo la unión entre tejidos mediante el cosido con un hilo habitualmente del mismo material. Con la aparición de los plásticos y las fibras sintéticas, surgieron los tejidos sintéticos. Sin embargo, estos tejidos compuestos por un entrelazado de hilos (urdimbre y trama), al igual que los de fibras naturales, no son impermeables. Es por ello, que se empezaron a fabricar tejidos

sintéticos recubiertos, habitualmente por otra capa de material sintético que, además de dar color y textura a la membrana, garantiza la estanqueidad.

Dicho esto, podemos imaginar que existen infinidad de membranas, según el tipo de material usado para los hilos del tejido y para el recubrimiento. Sin embargo, la realidad es muy distinta, ya que la inmensa mayoría de las membranas utilizadas hoy en día en este sistema constructivo son de hilos de poliéster de alta resistencia o de hilos de fibra de vidrio (que no son un plástico), y el recubrimiento de dichos tejidos es de PVC en el primer caso y de PTFE (Teflón) en el segundo. Por supuesto que existen otras posibilidades: hilos de polietileno, hilos de teflón y recubrimientos de silicona u otros plásticos, pero, realmente tienen una incidencia mucho menor en el mercado.

Las técnicas

Hablar de técnicas es hablar de construcción y montaje. Y automáticamente aparece en este proceso un participante al que no estábamos acostumbrados: el fabricante de estructuras tensadas. No se trata del típico fabricante de estructuras de acero (cables) o de toldos (membranas), ya que en ambos casos nos estamos refiriendo a un tipo de construcción habitual, y ahora nos enfrentamos a un tipo nuevo. Se trata de un fabricante de estructuras que va a tener que combinar las tecnologías de la construcción y de la producción industrial, aplicadas a la arquitectura.

Entre las especialidades de este nuevo tipo de fabricante estarán, la elaboración de terminales, uniones y detalles de los anclajes de las estructuras tensadas (por un lado) y la confección de membranas (toldos, carpas, velas...), que no son planas sino alabeadas, lo cual implica trabajar con un patronaje no rectangular (que incluye el diseño de estos patrones) y dominar las diferentes técnicas de

unión: cosido, soldadura o encolado.

Los conocimientos

En la actualidad, el uso de las computadoras hace posible casi todo lo imaginado en diversos campos: fotografía, música, cine, cocina, medicina y, también en arquitectura. El software y hardware utilizado está en continua evolución, corriendo la barrera del conocimiento y ampliando las posibilidades de materialización para las tensoestructuras. Actualmente, si pensamos en el diseño y ejecución de estructuras tensadas, no referimos a algún tipo de software y quizás a algún tipo de hardware, aunque, en el principio (ya hemos comentado que nos remontamos a mediados siglo XX) no existían tales herramientas aplicadas a esta tipología estructural. Una búsqueda a través de internet, realizada en 2017, arrojó un importante número de softwares aplicados al diseño, cálculo y fabricación de las tensoestructuras. La lista a continuación nos permite tener una idea de la cantidad y tipos de programas existentes, aunque seguramente hoy existan muchos más.

Dlupal

RF-FORM-FINDING for RFEM. Programa para la Búsqueda de la forma y Cálculo de cables y estructuras de membrana.

Easy

Diseño de estructuras ligeras.

Ferrari Sketch

SketchUp plugin para la búsqueda de la forma por Serge Ferrari.

Formfinder

Formfinder es un programa de diseño fácil de manipular.

Forten-ixCube

Diseño de estructuras tensadas, cálculo y sistema de fabricación.

K3-Tent

K3-Tent CAD/CAM. Diseño de estructuras para carpas.

Meliar MPANEL

Plugin para AutoCad, Rhinoceros o DesignCad 3D.

Membrane NDN

Programa de EF diseñado específicamente para profesionales en ingeniería de membranas tensadas.

Membranes24

Búsqueda de la forma de estructuras de membrana, online con solo unos clics.

Oasys GSA

Búsqueda de la forma y cálculo de estructuras textiles.

Paterner

Patronajes para Windows. Es una potente colección de herramientas para trabajar con superficies de malla en 3D.

SOFiSTiK

Estructuras ligeras. Suite completa.

TensileDraw

Paquete plugin integrado, compatible con Rhino y AutoCad, autor Mehler TensileDraw.

Tentnology CAE

Ingeniería CAD. Programa de estructuras textiles para PC.

Tess3D

Kurvenbau: Estructuras ligeras. Programa de diseño.

WinFabric

(Ingeniería Multimedia) Diseño de membranas tensadas y Sistema de fabricación.

Win Tess

Software para la búsqueda de forma, cálculo y patronaje.

En este contexto, se presenta el programa "Win Tess," de mi autoría, sobre el que se mostrarán imágenes de su aplicación para el diseño de una tensoestructura.

Vamos por partes. ¿Para qué nos sirve un software? En principio, esta herramienta puede servir para cualquier operación de diseño y ejecución de las estructuras tensadas. En este contexto, desde principios del siglo XXI, se evidencia su uso principalmente en tres etapas o fases del proceso que afectan directamente a diferentes participantes en su diseño y producción:

1. Búsqueda de la forma:

Es la labor principal del diseñador, habitualmente un arquitecto. Ya comentamos que no todas las formas son posibles para una estructura tensada, y aunque sean posibles, no todas son óptimas o recomendables.

¿Qué significa buscar la forma? ¿Por qué decimos que no todas las formas son recomendables? En primer lugar, hay un tema físico. La forma debe ser estable, de manera que la membrana pueda mantener su geometría invariable para su peso propio. Si la membrana ni siquiera es capaz de soportarse a sí misma en una posición determinada, es evidente que la forma estructural no será

aceptable.

Asimismo, se pueden aplicar otras consideraciones como, por ejemplo, ausencia de arrugas en la superficie de la membrana, que no tenga deformaciones excesivas frente a cargas variables como las producidas por acción del viento, que no produzca efectos de fatiga en los elementos estructurales, etc.

Por todo ello, se necesita que la membrana esté sometida a un esfuerzo de tracción inicial en toda su superficie. De esa forma evitará arrugas, se moverá poco, será capaz de mantenerse estable aún frente a cargas que tiendan a crear compresiones, etc.

A lo largo de la historia de estas estructuras, se han utilizado diversos métodos para encontrar formas eficientes de doble curvatura. Podemos considerar los siguientes:

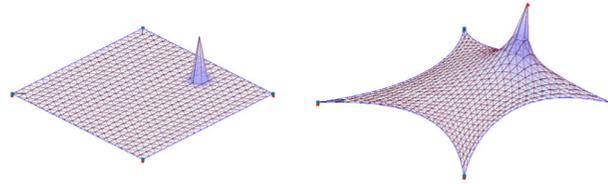
- Geometría conocida: esferas, cilindros, conos, etc. Estas formas tienen una cierta curvatura, en algunos casos doble curvatura y podemos estudiarlas y construirlas fácilmente ya que conocemos perfectamente sus características geométricas.
- Superficies regladas: superficies de doble curvatura anticlásticas, desarrollables a partir de líneas rectas. Son utilizadas en el mundo de la edificación por posibilitar la construcción de los encofrados con tablas de madera, para cáscaras delgadas de hormigón (superficies de compresión dominante, como las que construyó Félix Candela). Estas geometrías complejas pueden representarse con un software como el CAD, y de la misma manera que en el caso anterior, al conocer su geometría, son fáciles de diseñar y calcular.
- Modelos o maquetas a partir de telas elásticas (lycra): la producción de maquetas sigue siendo una de las formas más adecuadas para buscar la forma, ya que podemos intuir el comportamiento estructural del modelo. Estos modelos también permiten tener una imagen bastante precisa de las formas proyectadas, tanto para el diseñador como para el cliente.
- Pompas de jabón: método usado por el gran investigador Frei Otto. La película de agua jabonosa se adapta inmediatamente a un borde

rígido (alambre, por ejemplo) produciendo una superficie mínima de tensión uniforme. El inconveniente más claro es que se obtienen formas efímeras y difíciles de relevar y transcribir al papel para poder diseñarlas y calcularlas.

- Simulación informática: actualmente se ha generalizado el uso de herramientas computacionales, y existen diferentes métodos informatizados para generar la forma de las tensoestructuras. En general una membrana se representa como una malla. La malla está formada por barras y nudos, pero su imagen es la de una superficie. Entre estos métodos se pueden mencionar:
 - o Método de densidad de fuerza: se basa en encontrar la posición de la malla suponiendo que permanecerá en equilibrio si cada barra está sometida a una fuerza de tracción igual a su longitud. Para los bordes se supone que la fuerza se multiplica por un factor determinado (de hecho, podemos aplicar este factor a cualquier barra). De ahí el nombre de "densidad" de fuerza. Este método supone la resolución de un sistema de ecuaciones (o si se quiere de tres sistemas independientes: X, Y y Z) por lo que habitualmente se recurre a algún método matricial para resolverlo. Ello nos indica que la magnitud del problema (muy importante en cuanto al tiempo necesario como a la memoria requerida en la computadora) es proporcional al cuadrado del número de nudos.
 - o Métodos de relajación dinámica: se han popularizado mucho en este ámbito ya que, al ser iterativos, permiten análisis no lineales sin ningún esfuerzo añadido. Existen diferentes tipos de relajación, pero se utilizan tanto en la búsqueda de la forma como en el cálculo final de estas estructuras. Otra ventaja de estos métodos es que la magnitud del problema es proporcional al número de nudos, no al cuadrado como pasaba en el caso anterior, si bien en aquel caso solamente había que desarrollar el cálculo una sola vez (por no ser iterativo). El funcionamiento de estos métodos numéricos (simulación informática) suele ser muy parecido al método de creación de

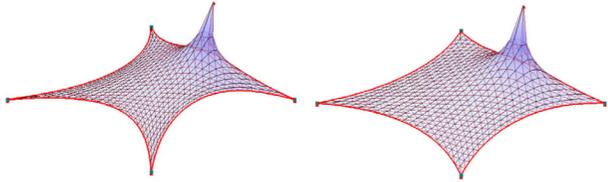
formas mediante telas deformables (tipo lycra):

- La primera acción es mover un punto y ver como la malla se mueve a causa de ese desplazamiento. Al levantar un punto, toda la membrana se adapta y los bordes libres quedan formando una concavidad debido a la tensión de la membrana perpendicular al borde.



BÚSQUEDA DE LA FORMA: ADECUACIÓN DE LA MALLA A UN DESPLAZAMIENTO INICIAL (SOFTWARE WIN TESS).

- La segunda acción típica consiste en ajustar la concavidad de los bordes. Con la densidad de fuerza, podemos modificar el factor de las barras de borde (de todos los bordes o solamente de uno) y así ajustar dicha concavidad, obteniendo diferentes formas. Hay que tener en cuenta que en cada paso no cambia solamente el borde afectado sino la totalidad de la membrana, aunque esto se note poco.



BÚSQUEDA DE LA FORMA: AJUSTES MODIFICANDO LA RIGIDEZ DE LAS BARRAS DE BORDE O RELINGAS (SOFTWARE WIN TESS)

Estas dos acciones son las más comunes y todos los softwares las contemplan. A partir de allí existen diferentes posibilidades de modificar la forma de la membrana, modificando el factor de la densidad de forma de las barras de forma particular, o modificando la posición de ciertos puntos para conseguir la forma deseada. Cada programa tendrá diferentes opciones para poder realizar estas tareas de forma automática y rápida.

2. Análisis estructural (cálculo)

Como cualquier estructura, las tensoestructuras deben cumplir con las normativas existentes (si las hay), o por lo menos, cumplir con los requisitos mínimos: que sea estable, que soporte los esfuerzos (es decir, que no se rompa) y que tenga deformaciones admisibles (es decir, que no se deforme demasiado, teniendo en cuenta para lo que sirve y lo que tiene alrededor). Esta es una labor que compete al analista de estructuras: un ingeniero o un arquitecto especialista en estructuras.

Al hablar de la búsqueda de la forma, ya hemos comentado la existencia de los métodos de relajación dinámica, los cuales nos permiten no solamente buscar formas, sino también calcularlas. Cualquiera sea el método usado para el cálculo de una estructura tensada, existen una serie de consideraciones comunes que vamos a analizar a continuación:

- El cálculo de una estructura tensada debe ser NO LINEAL. ¿Por qué decimos que debe ser no lineal? Porque los elementos típicos de estas estructuras (cables y membranas) no pueden soportar otros esfuerzos que no sean de tracción. Entonces, si al analizar la estructura uno de estos elementos resulta trabajando a compresión, el mismo se elimina del modelado y es necesario volver a calcular la estructura sin ese elemento. Además de esta razón, que es básica, existen otras causas que pueden demandar un análisis no lineal:

- o Grandes desplazamientos y rotaciones que pueden provocar grandes deformaciones de los elementos analizados: ya sean barras o elementos finitos. Cuando las deformaciones son importantes en función de las dimensiones de la estructura, los resultados no son proporcionales a las acciones y, por lo tanto, este es un ejemplo típico de cálculo no lineal.

- o Las acciones pueden variar si la geometría de la estructura cambia significativamente. Principalmente el viento y la nieve, pero también otros tipos de carga que pueden afectar a la estructura.
- o El comportamiento de los materiales (su módulo de elasticidad) no es constante, sino que varía en función de las tensiones, que a su vez dependen de las deformaciones antes comentadas.

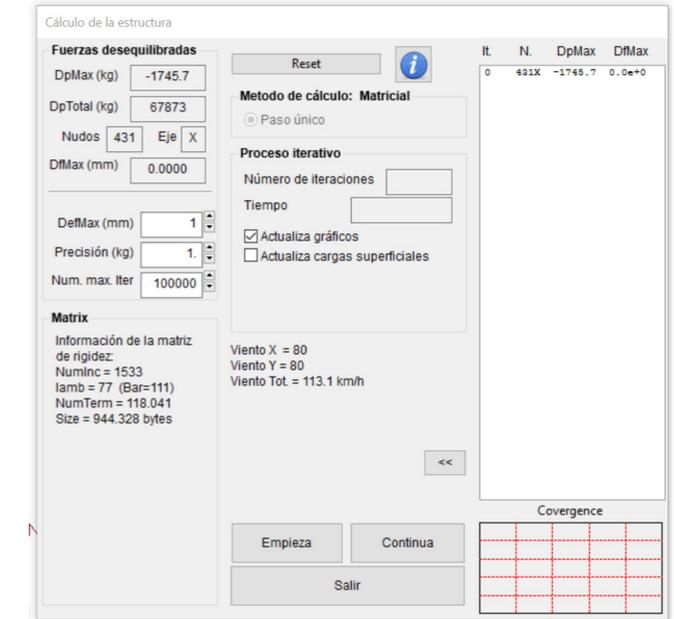
En su mayoría, los programas de cálculo no lineal son de dos tipos:

- De relajación (la más habitual es la relajación dinámica): En este método se realiza la resolución de ecuaciones no lineales por una iteración con pasos que nos van acercando al equilibrio. Si definimos una cierta precisión, cuando el error es menor que dicha precisión diremos que la estructura ha encontrado el equilibrio y está calculada.

- Método matricial: Se monta un sistema de ecuaciones de equilibrio a partir de la geometría inicial y las características mecánicas de los elementos usados (barras o EF {elementos finitos}). Conocido el sistema de ecuaciones, se resuelve por algún método matricial y se comprueba el equilibrio con la geometría hallada tras el primer cálculo. Este proceso matricial se repite tantas veces como haga falta hasta hallar el equilibrio (nuevamente, hasta que el error sea menor que la precisión que hayamos adoptado). Las diferentes técnicas para que este proceso de convergencia sea lo más breve posible, caracterizan a los diferentes programas que están actualmente en uso.

Todos estos conceptos constituyen las variables de cálculo de un

software para este tipo de estructuras, como por ejemplo el Win Tess.



RESOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA (SOFTWARE WIN TESS)

Finalmente, una vez hallado el equilibrio, hace falta comprobar que la estructura sea la adecuada. Para eso debe verificarse que las tensiones en la membrana no superen las admisibles (afectadas de los correspondientes coeficientes de seguridad) y que las deformaciones también sean inferiores a las admisibles.

Se podrían efectuar muchas reflexiones acerca de estos dos puntos, pero vamos a comentar solamente dos:

- Los coeficientes de seguridad se agrupan en coeficientes de mayoración, que aplicamos a las acciones, y coeficientes de minoración, que aplicamos a la resistencia de los materiales. En el cálculo de estructuras tradicionales, las acciones son proporcionales a los resultados, por lo que podemos aplicar directamente unos coeficientes que son el producto de ambos. En el cálculo no lineal, en cambio, eso no es posible, y hay que tener mucho cuidado en cómo se aplica este concepto en las combinaciones de acciones. No solamente el hecho de combinar cargas de nieve con cargas de succión de viento es desaconsejable, porque se podrían compensar mutuamente (tal como sucedería con cualquier tipo de edificio), sino que antes de realizar una combinación de hipótesis de carga, deberemos haber realizado los distintos cálculos, por separado, con las distintas cargas agrupadas o individuales. En cada uno de estos casos se aplicarán a las cargas unos coeficientes de seguridad diferentes, según las combinaciones. Win Tess da la opción al usuario de escoger qué coeficientes de seguridad se van a aplicar en cada caso.

| Coeficientes de seguridad | |
|--|---|
| CARGAS | MATERIAL |
| Peso propio <input type="text" value="1"/> | Membrana <input type="text" value="5"/> |
| Viento <input type="text" value="1"/> | Cables <input type="text" value="3"/> |
| Nieve <input type="text" value="1"/> | Tubos <input type="text" value="1.65"/> |
| Presión interna <input type="text" value="1"/> | |
| Pretensado & Térmico <input type="text" value="1"/> |  |
| <input type="button" value="Aplicar valores por defecto"/> | |
| <input type="button" value="Cancelar"/> | <input type="button" value="Aceptar"/> |

DEFINICIÓN DE COEFICIENTES DE SEGURIDAD SEGÚN TIPO DE CARGAS Y MATERIALES (SOFTWARE WIN TESS)

- Las estructuras de membrana se construyen dotando a la misma de una fuerza de pretensado. Teniendo en cuenta que las membranas solamente pueden soportar tracciones, si la sometemos a un estado previo de tracción, cuando aparezcan los esfuerzos producidos por las acciones exteriores (nieve, viento, etc.), si estos son de compresión, se verán compensados por la tracción del pretensado y, probablemente, la membrana seguirá sometida a tracción. Sin embargo, es posible que debido a las acciones exteriores, la membrana esté sometida a esfuerzos de tracción. En este caso la tracción previa del pretensado lo único que hará será aumentar dicho esfuerzo, y la resistencia de la membrana se verá comprometida antes de lo esperado. Ésta es la razón por la cual hay que usar esfuerzos de pretensado que provoquen tensiones de tracción que no comprometan la resistencia de la membrana.

- Los desplazamientos y giros de las tensoestructuras pueden ser muy grandes, sin producir grandes deformaciones globales en la estructura y, consecuentemente, grandes tensiones. Por lo tanto, tendremos que aceptar desplazamientos que consideraríamos excesivos en otras circunstancias. Es importante destacar en este sentido, que las consecuencias en la propia construcción también serán mucho menores. Por ejemplo, un asentamiento de 1 cm, puede provocar enormes grietas o fisuras en un edificio convencional, mientras que en una tensoestructura puede pasar completamente desapercibido.

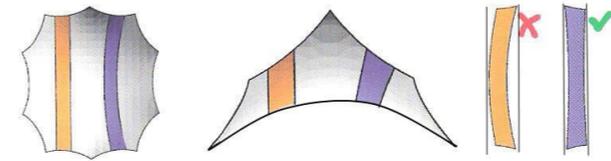
3. Patronaje.

Una de las tareas más importantes para los fabricantes de este tipo de estructuras es confeccionar una membrana de formas no planas (sinclásticas o anticlásticas), mediante el patronaje o desarrollo de moldes para el corte y posterior unión de las telas. Existen diferentes maneras de crear estos patrones, pero

actualmente está generalizado el uso de métodos informatizados. Cabe destacar que, en épocas previas al uso de herramientas computacionales, para la materialización de estas membranas se trabajaba con maquetas rígidas a escala reducida para definir patrones que luego se transformaban a escala real, aplicando fórmulas conocidas para formas geométricas regulares o mediante el uso de pompas de jabón y fotografías (esta última modalidad poco usada por su complejidad de realización).

Esta etapa en el proceso, afecta directamente al fabricante y al diseñador, sobre todo, cuando los patrones son visibles (por la translucidez o la diferencia de color, que pone en evidencia la unión entre las diferentes piezas y puede utilizarse como recurso de diseño para definir un ritmo o textura superficial). El diseño de los patrones no afecta en forma significativa al cálculo, aunque determinados estudios teóricos mencionan la importancia de las uniones de los patrones en el comportamiento estructural de las membranas.

En muchos textos sobre el patronaje se dice que dichos patrones deben realizarse a partir de líneas geodésicas. Creemos que esta aseveración es falsa. En realidad, un patrón puede generarse con la forma que se desee, a partir de la malla que simula la superficie. Si el patronaje va a ser muy visible, como en el caso de patrones de diferente color, la forma de los mismos es también fundamental en el diseño de la tensoestructura. Sin embargo, si los patrones son todos del mismo tipo y color de membrana textil, lo más habitual es que se usen líneas geodésicas para crear patrones entre ellas.



PATRONAJE DE UNA MEMBRANA (SOFTWARE WIN TESS)

Si analizamos dos patrones diferentes para la misma forma geométrica de doble curvatura podemos deducir lo siguiente: el patrón de color naranja fue creado entre dos líneas que en planta son paralelas y se han obtenido con la intersección de un plano vertical y la superficie de la membrana. El patrón queda muy ordenado en planta y alzado, pero, al cortar la tela, tendrá forma arqueada (de "banana") y generará mucho desperdicio de material. El patrón de color azul fue creado entre dos líneas geodésicas que parecen paralelas en planta, pero no tienen por qué serlo en absoluto. En alzado tienen un aspecto que nos recuerda a una disposición geométrica radial, pero lo más importante es que al cortar el patrón, este es recto y no se va a desperdiciar tanto material.

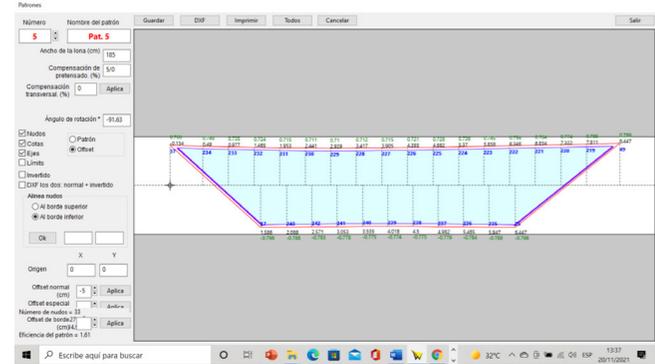
Las líneas geodésicas son líneas que unen dos puntos de una superficie alabeada por el camino más corto. En realidad, eso es una consecuencia, pero es la forma habitual de crear estas líneas geodésicas con un software, como el programa Win Tess. Matemáticamente, una línea geodésica es aquella en que la normal a la curva coincide siempre con la normal a la superficie.



PROCESO DE UNIÓN SOLDADA DE LA TELA CON CUÑA CALIENTE

Uno de los aspectos más importantes que se deben considerar en la creación de un patronaje es la creación de un "offset"; para cualquier método de unión de patrones: cosido, soldado o encolado. Un "offset" es una banda que se deja en el perímetro del patrón o molde, para poder unirlo con el siguiente sin pérdida de tamaño. En la fotografía es posible ver como dos operarios preparan la unión soldada de dos patrones, superponiendo una banda de tela que en realidad es el doble del offset, ya que el borde teórico del patrón pasa por el medio de la soldadura.

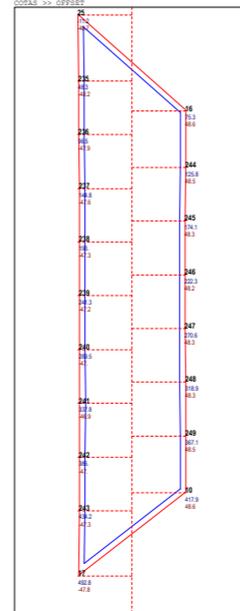
En una tensoestructura podemos tener diferentes tamaños de "offset", en función del tipo y destino de la unión: para unir patrones por soldadura, para realizar un dobladillo perimetral que contenga un cable perimetral de relinga, para realizar un "keder" o refuerzo de borde, para esconder un detalle constructivo, etc.



PATRONAJE DE UNA MEMBRANA (SOFTWARE WIN TESS)

Con el programa Win Tess se puede también obtener el "offset" de un patrón, donde, la banda perimetral puede tener una medida

constante, por ejemplo de 5 cm. De la misma manera, el programa nos permite usar valores distintos en las zonas perimetrales de la membrana donde muchas veces encontramos una relinga o valores especiales que el usuario defina según su necesidad. Otro aspecto importante es el corte de estos patrones, que puede realizarse de forma manual o mediante una máquina de corte automática (CAM) conectada a una computadora (CAD). En el primer caso será necesario tener una salida por impresora de cada patrón.



PATRONAJE: SALIDA DE IMPRESORA POR PATRÓN (SOFTWARE WIN TESS)

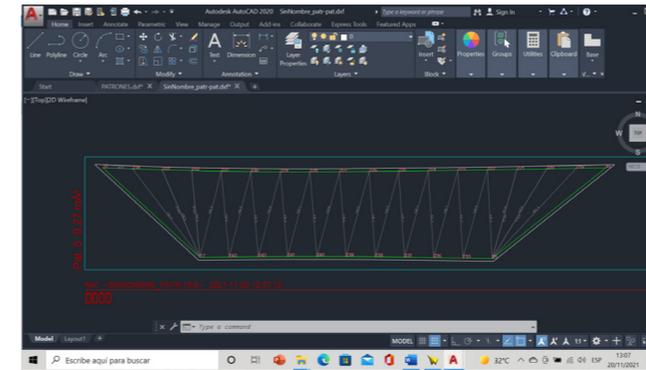
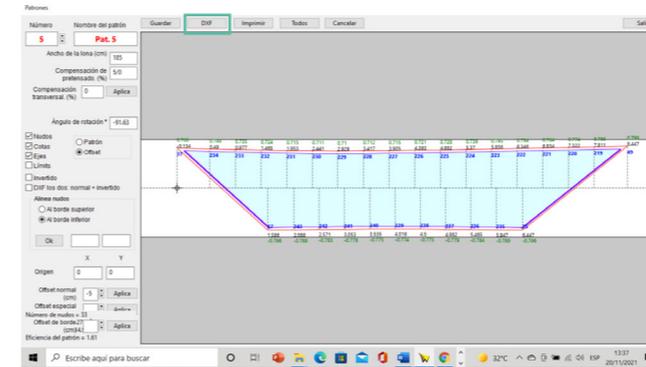
Pat. 4

DDDD
C:\Users\cesar\Desktop\tenso\rel\winTess\GrafNombre_pat.4.rvt

| Nodos | | Orde en X | | | |
|-------|-------|-----------|--------|--------|--|
| Node | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | |
| 25 | 0,000 | -0,436 | -0,112 | -0,487 | |
| 235 | 0,483 | -0,432 | 0,483 | -0,482 | |
| 14 | 0,773 | -0,436 | 0,733 | -0,486 | |
| 236 | 0,965 | -0,429 | 0,965 | -0,479 | |
| 244 | 1,258 | -0,430 | 1,258 | -0,485 | |
| 237 | 1,448 | -0,426 | 1,448 | -0,476 | |
| 245 | 1,741 | -0,433 | 1,741 | -0,483 | |
| 238 | 1,930 | -0,423 | 1,930 | -0,473 | |
| 246 | 2,223 | -0,432 | 2,223 | -0,482 | |
| 239 | 2,413 | -0,422 | 2,413 | -0,472 | |
| 247 | 2,706 | -0,433 | 2,706 | -0,483 | |
| 240 | 2,895 | -0,420 | 2,895 | -0,470 | |
| 248 | 3,189 | -0,433 | 3,189 | -0,483 | |
| 241 | 3,378 | -0,419 | 3,378 | -0,469 | |
| 249 | 3,672 | -0,430 | 3,672 | -0,480 | |
| 242 | 3,862 | -0,420 | 3,862 | -0,470 | |
| 10 | 4,154 | -0,436 | 4,179 | -0,486 | |
| 243 | 4,343 | -0,423 | 4,342 | -0,473 | |
| 17 | 4,825 | -0,427 | 4,928 | -0,478 | |

WinTess ©
Copyright R. Sastre & X. Giménez: 1993-2021
(v. 3.16517)

En el segundo caso, la salida se realiza a través de un archivo de transferencia, entre los cuales el más habitual es el que tiene extensión DXF.



PATRONAJE: SALIDA A ARCHIVO DXF (SOFTWARE WIN TESS)

Conclusiones

De todo lo expuesto en este texto se pueden sacar diferentes conclusiones, pero pensamos que lo más interesante es comentar aquellas que son exclusivas de las estructuras tensadas.

En primer lugar, y no podía ser de otra forma, hay que hablar de la búsqueda de la forma. A diferencia del resto de las estructuras (y por lo tanto del resto de las edificaciones), una tensoestructura está formada por elementos incapaces de soportar otra sollicitación que no sea tracción. Por lo tanto, la posición de cada elemento debe propiciar el equilibrio con las fuerzas existentes en el momento de ejecución, que serán el peso propio y el pretensado que pueda haberse aplicado. Si no es así, o habrá arrugas en la membrana, o simplemente la estructura no estará en equilibrio y los elementos no se mantendrán en la posición diseñada.

Es tan sencillo como aseverar que un cable no podrá mantenerse nunca completamente horizontal. Al tener peso propio, el cable adoptará la forma de la catenaria. Para que permanezca completamente horizontal, sería necesario imprimir un pretensado de magnitud infinita, y esto obviamente es imposible. Lo que sí podemos decir es que, para conseguir un cable de geometría recta, debemos aplicar una tensión significativa, que en los extremos se traducirá en una fuerza de enorme magnitud. A partir de este concepto, se puede entender la importancia en la búsqueda de la forma inicial, las complicaciones que pueden surgir de un diseño inadecuado, y por qué es tan habitual disponer de geometrías con grandes curvaturas.

La ejecución o montaje de estas estructuras tiene también su importancia. Normalmente, las estructuras tensadas son vulnerables al viento en la fase de montaje, cuando aún no se ha aplicado ningún pretensado. Es por ello que, habitualmente el periodo de montaje de cada elemento principal de una estructura deberá ser muy corto y resulta necesaria una adecuada programación de esta

etapa, para evitar demoras.

Las tensoestructuras suelen tener grandes desplazamientos y giros (no siempre grandes deformaciones), por lo que un análisis no lineal es imprescindible. Ello afecta al valor que se da a los coeficientes de seguridad y al método de cálculo. Los desplazamientos de anclajes y cimentaciones, que en una estructura convencional estarían limitados a pocos milímetros, en las tensoestructuras pueden alcanzar valores muchísimo mayores sin consecuencia significativas. En el caso del movimiento de una membrana, se pueden permitir que sean extremos con la única limitación de que no toque o afecte a otros elementos del edificio.

Una vez realizado el cálculo y la fabricación de la tensoestructura, se debe ejecutar el montaje en obra por constructores expertos. Los fabricantes de tensoestructuras requieren de experiencia y capacidades particulares. El tema de los detalles constructivos es un ejemplo de la interacción entre el diseñador y el constructor, ya que, para materializar la forma generada en el modelo virtual, es necesario resolver las uniones físicas entre los elementos. Estas uniones son en su mayoría fijaciones entre elementos que están trabajando a tracción. Por lo tanto, hay que pensar en los terminales de los cables, sus dimensiones y los accesorios imprescindibles. Y en la membrana, la unión de los patrones, los bordes, las esquinas, las uniones con los cables, etc. Las cimentaciones son otro aspecto particular de las estructuras tensadas, que se diferencian de las fundaciones para otras construcciones, ya que es necesario considerar estructuras para resistir el arrancamiento. En relación a la vida útil de las estructuras tensadas, es muy importante no descuidar ciertas recomendaciones para su mantenimiento que, por la naturaleza de los materiales con que están construidas, difieren de las correspondientes a las construcciones tradicionales:

1. El vandalismo. Las estructuras de tracción, sobre todo

las de membrana, son muy susceptibles al rasgado. Una navaja, unas tijeras, etc. pueden cortar fácilmente una membrana. También el calor o el fuego (un encendedor) la pueden quemar o perforar. Y aunque no sea vandalismo propiamente, un objeto volador en un día de fuerte viento puede golpear una membrana y romperla. Todos estos aspectos afectan al diseño de la estructura, pero también al mantenimiento, la vigilancia, el uso, etc.

2. El mantenimiento. Ya se ha comentado de la importancia del pretensado en este tipo de estructuras. Pero el pretensado tiende a desaparecer con el tiempo. Por eso se suele aconsejar un retensado después de la primera gran carga de la estructura (gran viento o gran nevada) y/o un retensado periódico cada cierto número de años.

Otro aspecto del mantenimiento es la limpieza. En función de su situación, una tensoestructura puede verse afectada por el polvo, humo, o cenizas volcánicas, que deterioran la imagen y estética del conjunto. Hay que saber qué productos se pueden y deben usar en cada caso para limpiar las membranas.

3. La durabilidad. Cada vez, los materiales usados en las tensoestructuras son de mejor calidad (aceros inoxidables, pinturas epoxídicas, recubrimientos de telas más duraderos como PTFE por ejemplo, etc.), pero a pesar de ello podemos considerar la necesidad de reponer algún elemento (toda la lona, por ejemplo) a lo largo de la vida útil de la estructura. Ello implica un diseño especial que permita de forma fácil el montaje del material a reponer.

TERMINAL DE COMBIS DE PUERTO MADERO

DATOS TÉCNICOS

Equipo de Proyecto:

Departamento de Arquitectura del
Ministerio de Transporte / WAGG
Soluciones Tensadas

Constructora:

WAGG Soluciones Tensadas

Cálculo Estructural:

Departamento de Arquitectura del
Ministerio de Transporte / WAGG
Soluciones Tensadas

Superficie Construida:

2568 m²

Año Proyecto:

2015

Fotografías:

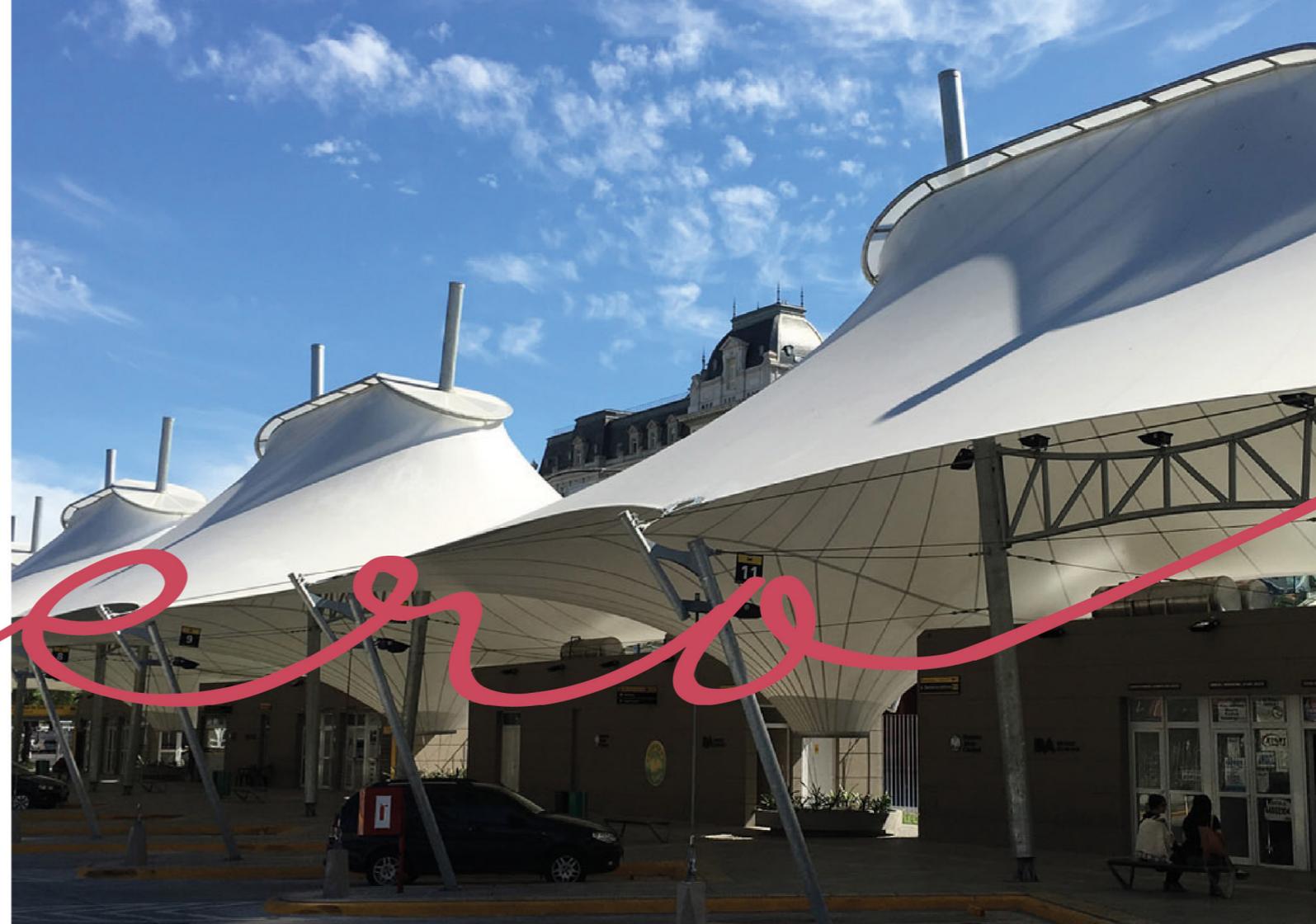
WAGG Soluciones Tensadas

Ubicación:

Puerto Madero, Buenos Aires, Argentina

Especificación Estructural:

Membrana textil tensada PES/PVC
Ferrari 120252 vinculada a una
estructura de anclaje.





MEMORIA DESARROLLADA POR EL EQUIPO DE PROYECTO

En pos del ordenamiento del transporte público, la administración del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, a través de la Subsecretaría de Transporte, organizó una red de puntos o nodos dentro del centro de la ciudad para hacer transferencia con combis interurbanas.

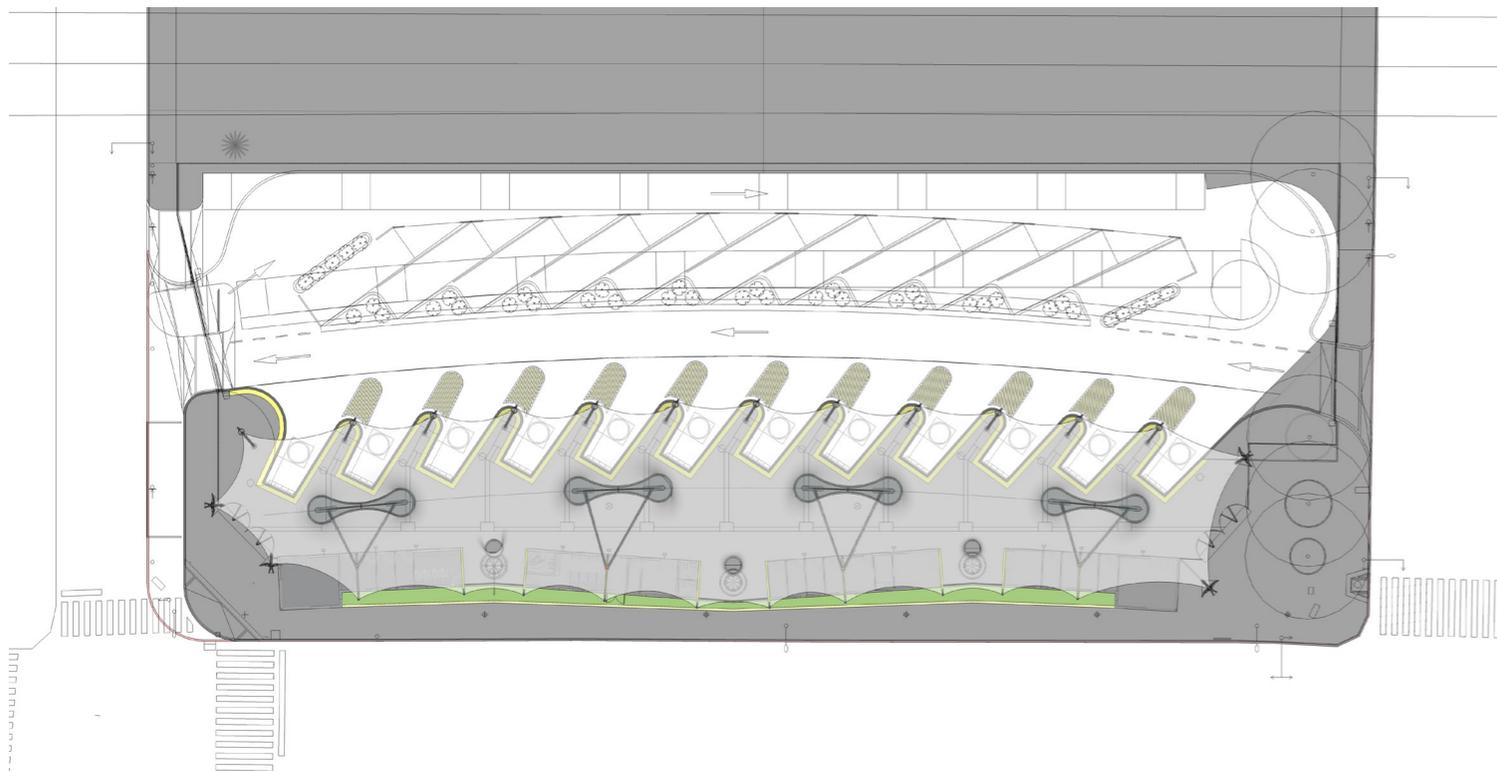
Los croquis iniciales propuestos por el área de proyectos del equipo de Metrobus, plantearon una cubierta tensada de 4 conoides que resolviera con liviandad y translucencia el área semi-cubierta de casi 80 metros lineales por 25 metros de ancho, alojando por debajo a las dársenas de acceso, combis y todo el equipamiento que la terminal necesitaría.



RENDER DEL PROYECTO

MIRALO AQUI





PLANTA DE ARQUITECTURA

Se desarrolló el proyecto, desde el análisis de la factibilidad, el anteproyecto formal y estructural, el cálculo del mismo, la ingeniería de detalle y su producción y montaje, tratando de lograr una propuesta materializable, basada en los aspectos requeridos por la empresa Metrobus.

Información General

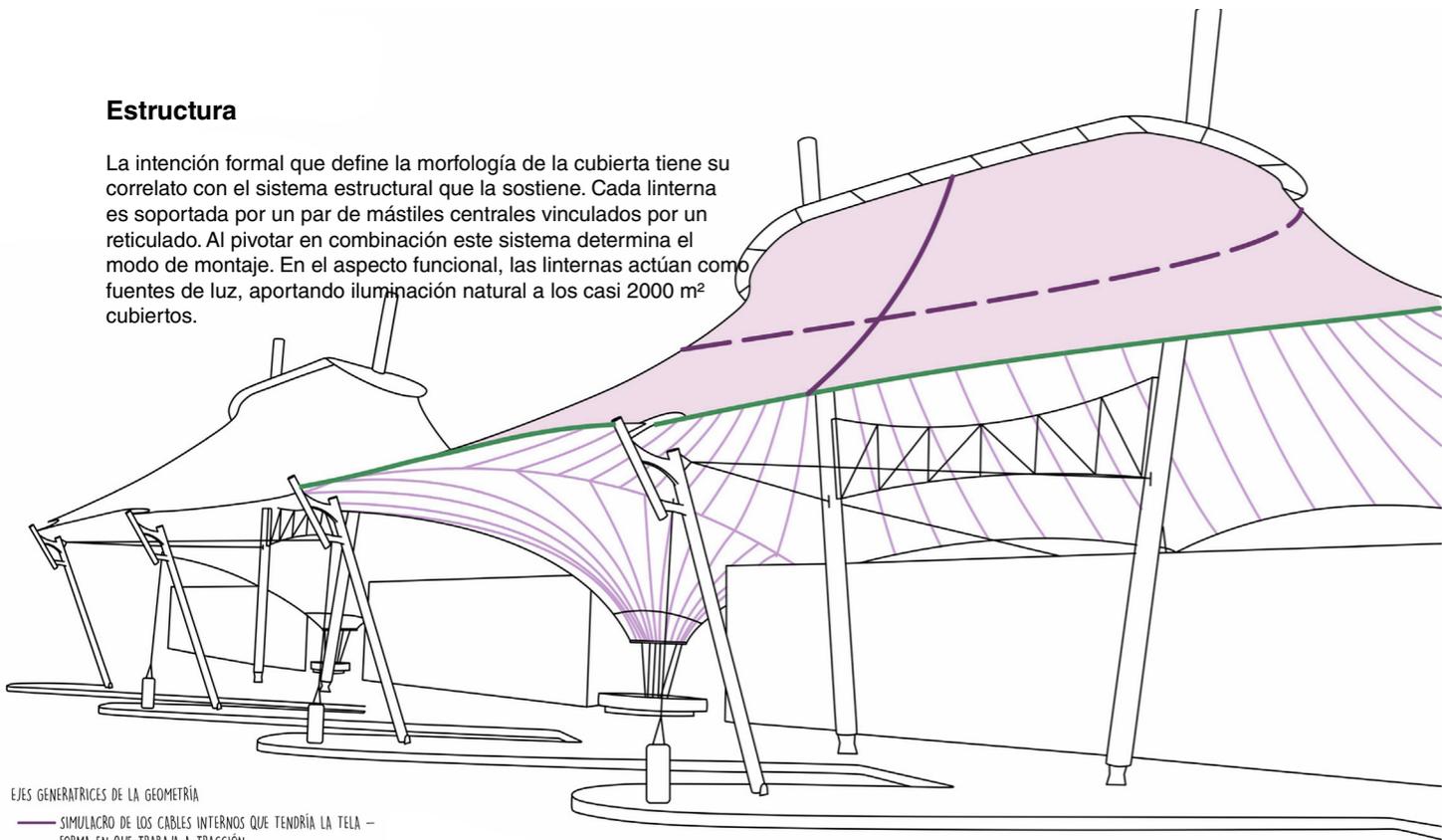
La cubierta consta de cuatro conoides sucesivos, que rematan en linternas de geometría orgánica que dan identidad visual al proyecto. Intercalados con éstos, tres conoides invertidos contribuyen a regular la escala en el espacio interior.

El anteproyecto original pertenece a la Dirección General de Transporte de la Ciudad de Buenos Aires, y la cubierta tensada fue diseñada en conjunto con WAGG Arquitectura Textil.



Estructura

La intención formal que define la morfología de la cubierta tiene su correlato con el sistema estructural que la sostiene. Cada linterna es soportada por un par de mástiles centrales vinculados por un reticulado. Al pivotar en combinación este sistema determina el modo de montaje. En el aspecto funcional, las linternas actúan como fuentes de luz, aportando iluminación natural a los casi 2000 m² cubiertos.



EJES GENERATRICES DE LA GEOMETRÍA

- SIMULACRO DE LOS CABLES INTERNOS QUE TENDRÍA LA TELA —
FORMA EN QUE TRABAJA A TRACCIÓN
- LA CARGA PREDOMINANTE ES LA DE TENSIÓN PREVIA
DE LA TELA = ESTADO DE PRETENSADO
- CABLES PORTANTES = TENSORES
- CABLES ESTABILIZANTES = RELINGAS DE BORDE

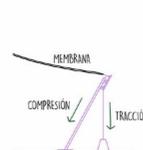
GEOMETRÍA DE LOS CONOIDES

SISTEMA ESTRUCTURAL
ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA ESTRUCTURA: MEMBRANA PRETENSADA, COMPUESTA POR LA TELA Y CABLES
ELEMENTOS SECUNDARIOS: MÁSTILES Y TENSORES, ESTRUCTURA DE APOYO

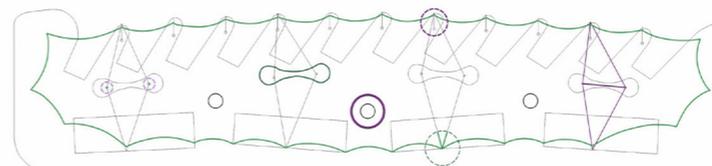
MÁSTILES INTERNOS.
MATERIALIZAN LOS PUNTOS ALTOS
(TRABAJAN A COMPRESIÓN)

"MOÑOS / LINTERNAS"
ELEMENTO AUXILIAR QUE PERMITE
REPARTIR LAS CARGAS Y
GENERAR ILUMINACIÓN

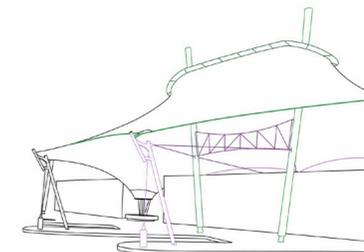
MÁSTILES EXTERNOS.
MATERIALIZAN LOS PUNTOS BAJOS
(TRABAJAN A COMPRESIÓN)
+
TENSOR A ANCLAJE



LA TENSIÓN QUE GENERA LA
MEMBRANA SE DESCOMPONE
EN ESFUERZOS DE COMPRESIÓN EN
EL MÁSTIL Y DE TRACCIÓN
EN LOS TENSORES



ESQUEMA EN PLANTA



ESQUEMA EN 3D



RELINGAS
(CABLES DE FORMA FUNICULAR)
ELEMENTO DE BORDE
QUE TRABAJA A TRACCIÓN.
RECOGEN TODOS LOS ESFUERZOS
Y LOS TRASMITEN A LAS BAYONETAS.



ANILLO INFERIOR
CUMPLE LA FUNCIÓN DE
UNA RELINGA.



ANCLAJE A MODO DE BAYONETA.
PARA QUE EL "PUÑO" DE LA
TELA SE "DESPEGUE DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL".
LA BAYONETA ESTÁ FIJADA AL TABIQUE
DE HORMIGÓN DE LOS VOLUMENES DE SERVICIO.

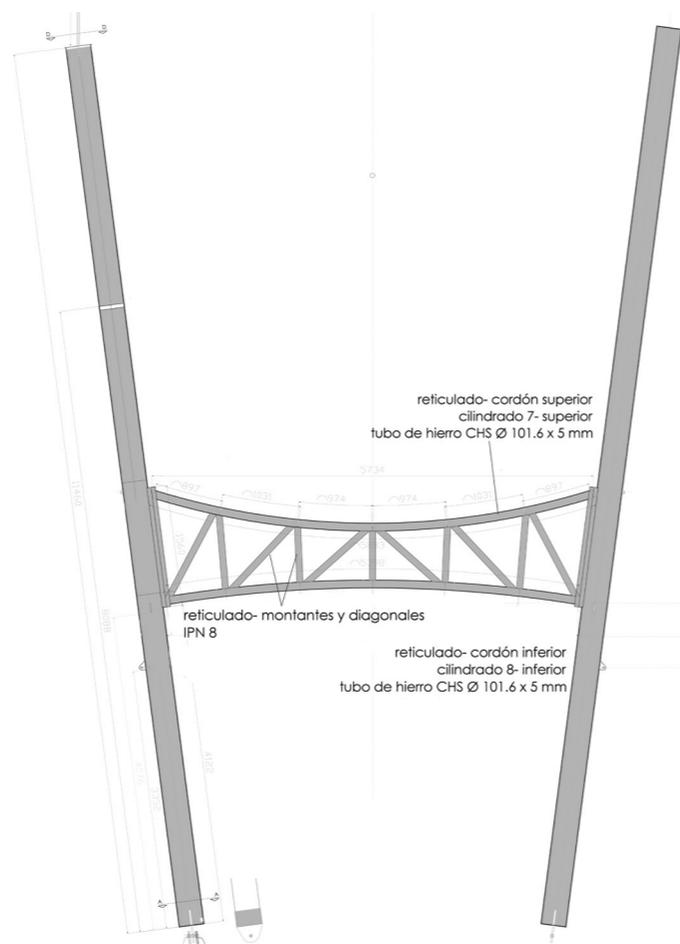


TENSORES ESTABILIZAN LOS MÁSTILES
EN UN SENTIDO, Y EN EL
OTRO SE VINCULAN
POR UN RETICULADO

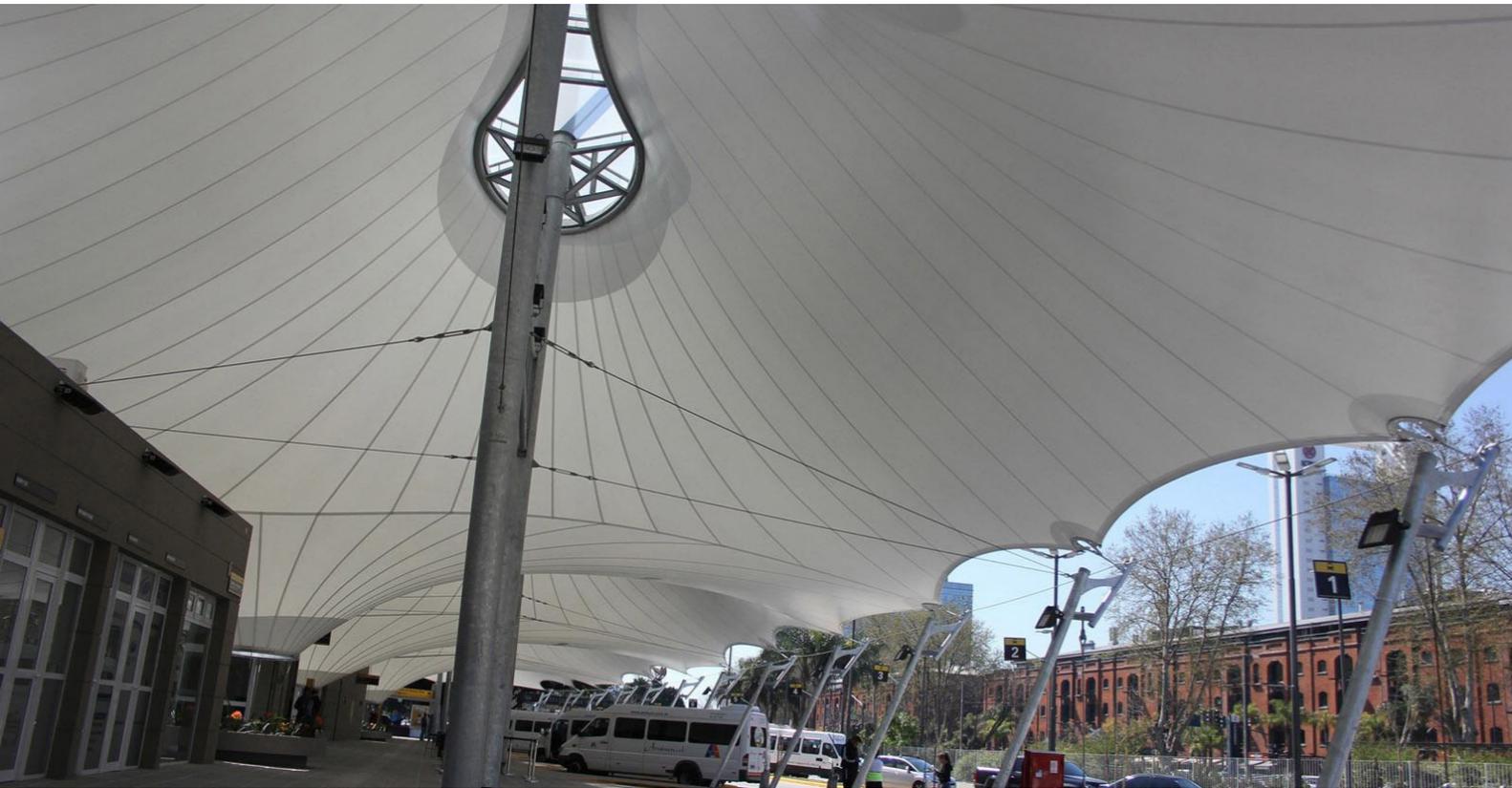
COMPONENTES DEL SISTEMA



DETALLE MÁSTILES CENTRALES Y LINTERNAS

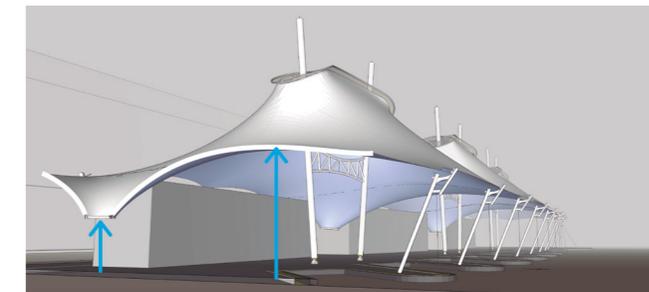


DETALLE MÁSTILES CENTRALES Y LINTERNAS



Funcionalidad

El proyecto consiste en un centro de transferencia de transporte urbano. Su morfología logra como efecto complementario, constituirlo en un hito urbano que, se destaca por su forma orgánica dentro del entorno construido. Las dos familias de conoides apelan a dar respuesta a requerimientos de dos escalas diferentes. Las cuatro linternas, que responden a la escala urbana, permiten la entrada de un caudal considerable de luz que baña el espacio interior. Los conos invertidos en cambio, a modo de gárgolas, permiten escurrir gran parte del agua recolectada por la cubierta en tres puntos, bajando la escala a la dimensión del usuario.



VARIACIÓN DE ALTURA DE LA CUBIERTA

MIRALO AQUI



Secuencia de Montaje

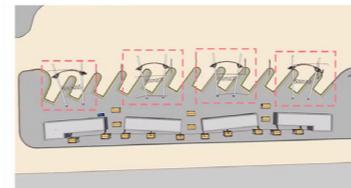
La planificación de la materialización de la cubierta, fue concebida desde los inicios teniendo en cuenta tanto su producción como el montaje. Si bien la confección de los 2500 m² de membrana se fragmentó en 3 piezas, éstas luego se unieron en la obra. Por lo tanto, el izaje se realizó con la pieza completa.

Los 4 pares de mástiles y sus reticulados, actuaron como pivotes de izado. Tomados por 4 grúas, con capacidad para 45 toneladas, elevaron todo el conjunto. A medida que las grúas los elevaban, estos mástiles traían consigo la tela de la cubierta, que a su vez, "arrastraba" a los mástiles pequeños de las dársenas, preparados

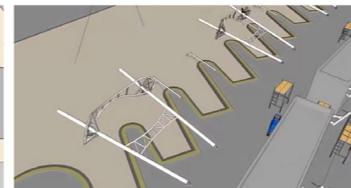
previamente con sus cables de tracción tomados al piso, dando por resultado un posicionamiento sucesivo de todas la piezas y membrana al sólo izado de las grúas.

Del lado de los edificios destinados para las dependencias de servicio, la membrana se debió tirar mediante aparejos, para que alcanzaran los mástiles fijos anclados a los tabiques de hormigón del lado de la calle.

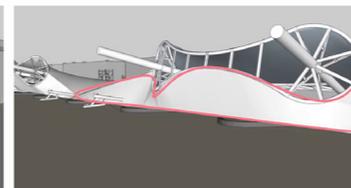
Como resultado de un proceso de diseño que integró tanto aspectos funcionales, como morfológicos, estructurales y logísticos, la cubierta del Centro de Transferencia de Combis se constituye un exponente de la Arquitectura Textil, incorporando el lenguaje de las cubiertas tensadas al paisaje de la ciudad.



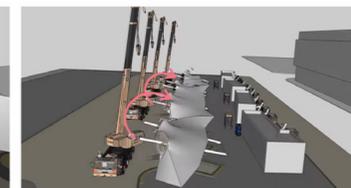
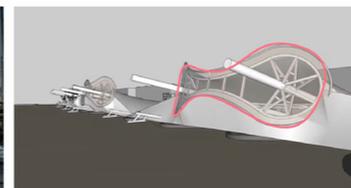
POSICIONAMIENTO



COLOCACIÓN DE MÁSTILES



COLOCACIÓN DE LONAS



COLOCACIÓN DE TAPAS, CIERRE



IZADO Y ELEVACIÓN

SECUENCIA DE MONTAJE

CONJUNTO TERMINADO

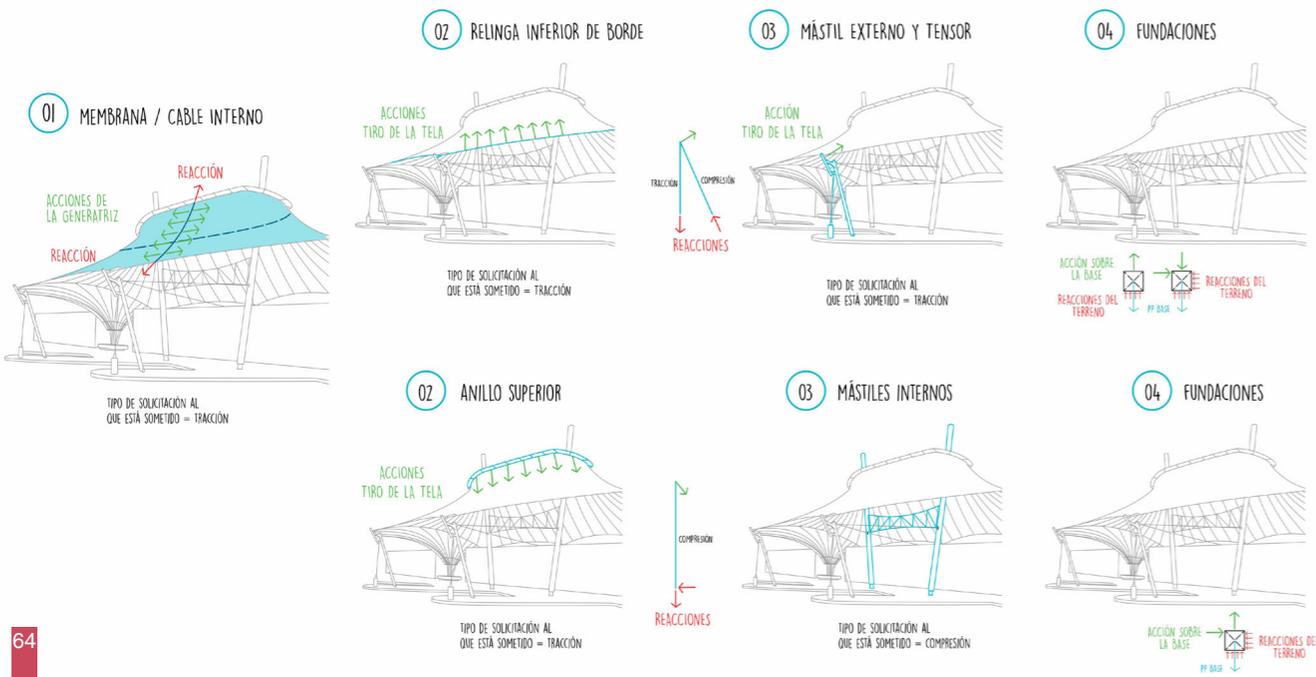
ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MECANISMO ESTABLE

Trabajo realizado por estudiantes de la cátedra de Estructuras IV – FAUD – UNC donde se representa el mecanismo resistente del proyecto.
 Autores: Granero Spada, Lucía Belén / Moreale, Macarena / Moll, Belén / Peralta, María Belén (Taller Klein)

2 – ESQUEMA ESTRUCTURAL

2.2 – ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MECANISMO ESTABLE – ACCIONES Y REACCIONES

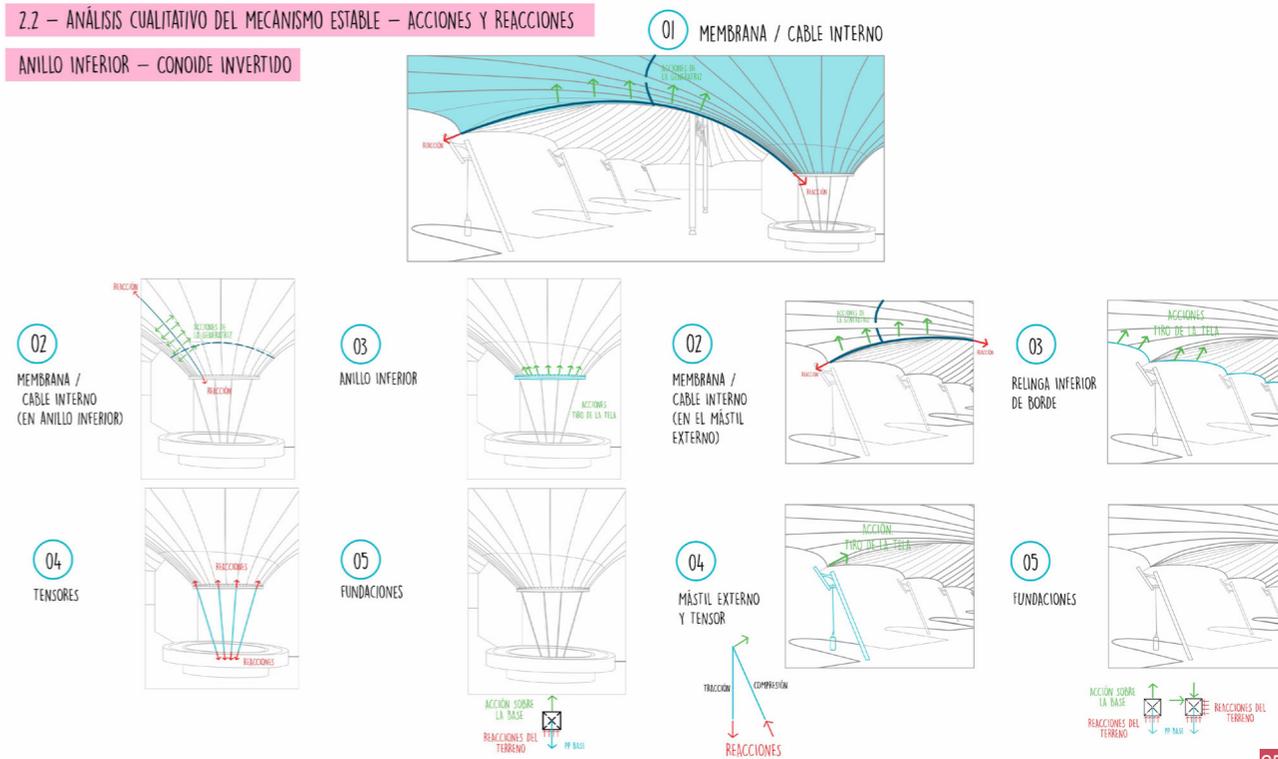
ANILLO SUPERIOR – CONOIDE PRINCIPAL



2 – ESQUEMA ESTRUCTURAL

2.2 – ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MECANISMO ESTABLE – ACCIONES Y REACCIONES

ANILLO INFERIOR – CONOIDE INVERTIDO



*La memoria descriptiva realizada por los autores fue complementada con imágenes obtenidas de trabajos de estudiantes realizados en la cátedra de Estructuras IV – FAUD – UNC.

CUBIERTA MULTICANCHA

FEN

DATOS TÉCNICOS

Nombre empresa:
Arqtex Ltda.

Arquitectos:
Diego Achurra, Carla Cortés

Arquitecto Colaborador:
Arturo Steinberg

Mandante:
Universidad de Chile

Constructora:
Arqtex Ltda.

Cálculo Estructural:
Carla Cortés, Diego Achurra

Superficie Construida:
822 m²

Año Proyecto:
2015-2016

Programas:
IxCube, Rhinoceros, Grasshopper

Fotografías:
Aryeh Kornfeld

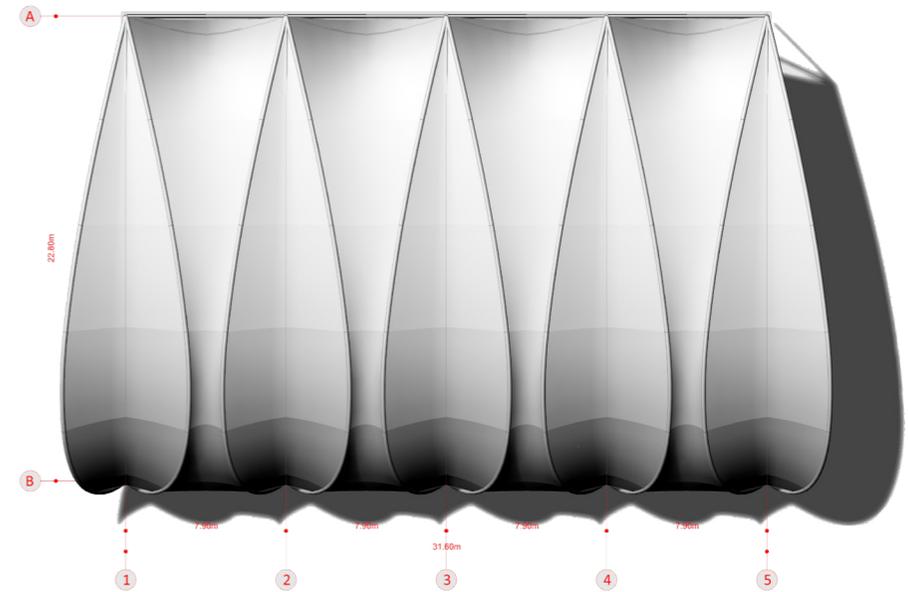
Ubicación:
Facultad de Economía y Negocios (FEN)
Diagonal Paraguay 257, Santiago, RM, Chile.



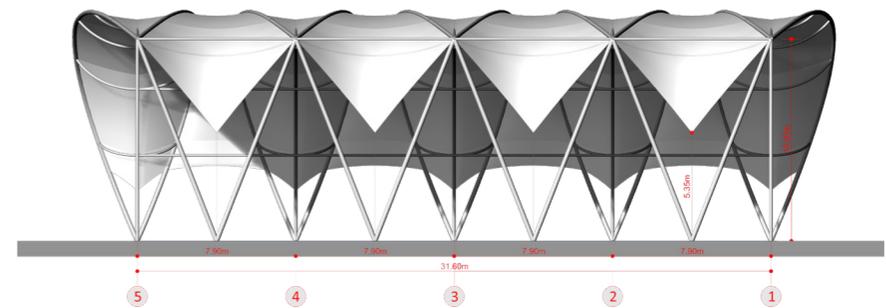


La cubierta para la Multicancha de la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile fue solicitada a través de un concurso público.

Las condicionantes para el diseño eran cubrir un espacio deportivo de tal manera de brindar protección eficiente contra la radiación solar y el agua de lluvia que dejaban inutilizado el espacio en condiciones extremas de calor o en días lluviosos.



PLANTA NIVEL CUBIERTA
ESC 1:125



ELEVACIÓN ORIENTE ESC 1:125

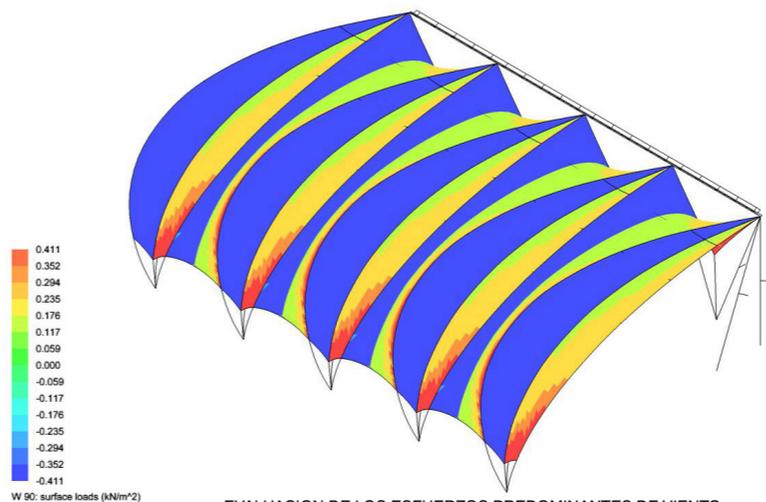
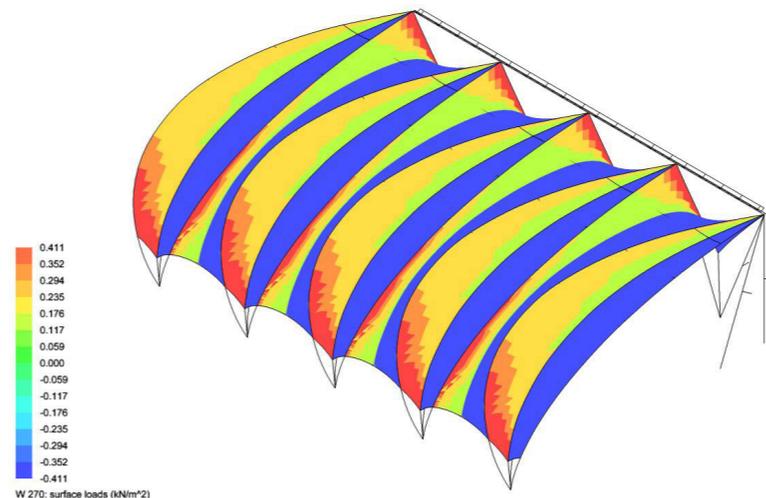
Desde el punto de vista de la arquitectura, se buscó proteger mayoritariamente de la radiación solar predominante desde el poniente, ya que el uso de la cubierta, al ser un recinto universitario, es intenso desde la tarde. La incorporación de equipos de iluminación LED direccionados hacia la membrana permiten el juego aéreo, como el volleyball, sin encandilar a los jugadores en la noche.

Para la cobertura, se utilizó un material con protección de TiO_2 o dióxido de titanio, que descompone las moléculas contaminantes de NO_2 , producto de la combustión de carbón o petróleo, en oxígeno y nitratos que sirven de fertilizantes.





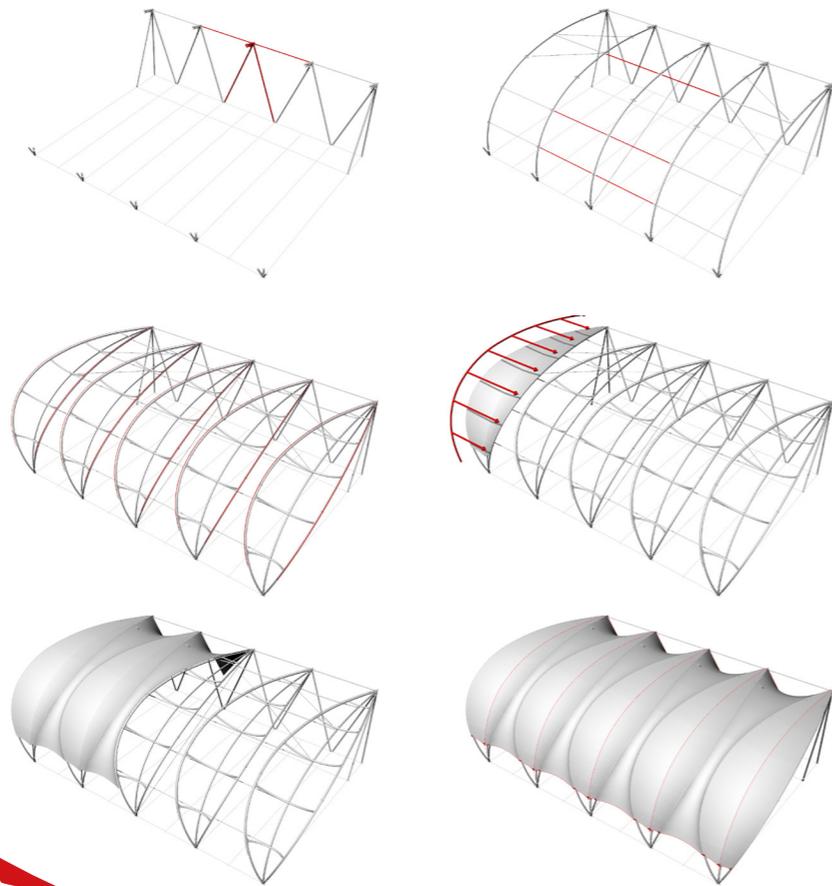
En la búsqueda de la forma, se generaron a través de parametrización, curvas catenarias como bordes rígidos, discretizados en varios arcos para lograr la forma de "hojas", que permitieran una correcta evacuación de las aguas y protección solar. Estos bordes rígidos tienen una mejor respuesta estructural ante cargas combinadas de viento y nieve que, en conjunto con las de sismo, deben ser consideradas por las normativas estructurales de Chile.



EVALUACION DE LOS ESFUERZOS PREDOMINANTES DE VIENTO

Desde el punto de vista de la factibilidad constructiva, se tuvieron en cuenta las condicionantes del sitio de implantación de reducida accesibilidad (mayoritariamente peatonal), por lo que el diseño de las componentes fue fundamental para que fueran trasladables por camiones que pudieran acceder por las estrechas calles aledañas. La pre-fabricación de cada uno de los elementos que conforman la cubierta fue parte del diseño y cálculo desarrollado por el equipo de proyecto.

La propuesta, además, incluía las etapas de montaje donde, la logística y elección de la maquinaria elegida en cada una de ellas, fueron fundamentales para el éxito del proyecto. Para ello se requería el diseño de piezas de tamaño pequeño y poco peso que facilitarían el montaje con el equipo disponible.



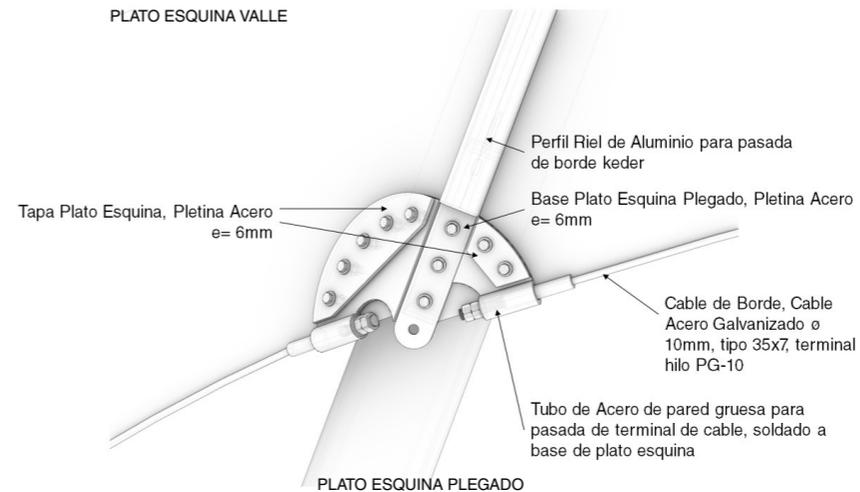
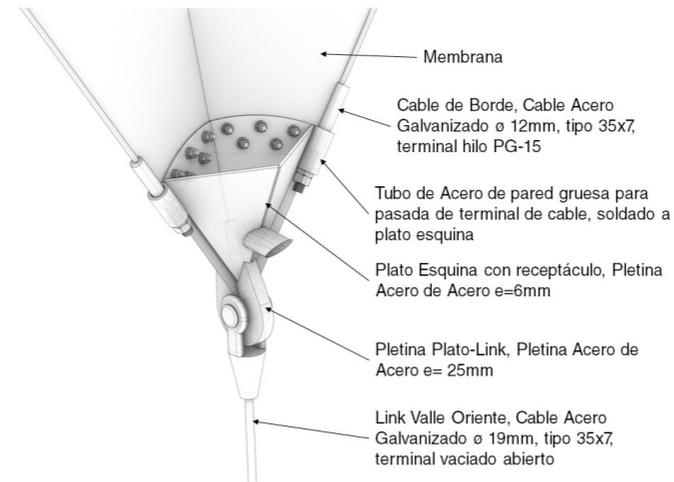
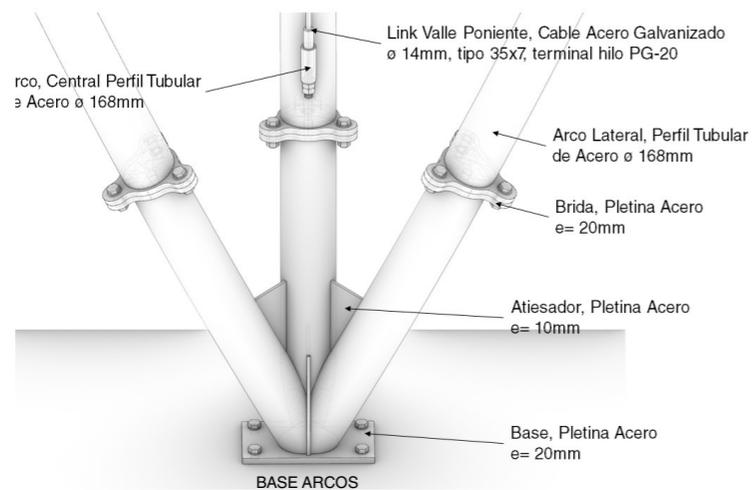
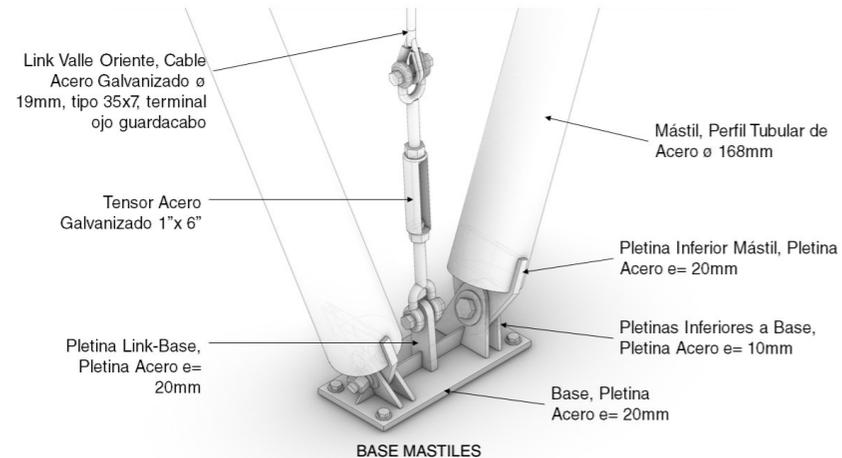
SECUENCIA DE MONTAJE

En el proceso de fabricación fue muy valioso el trabajo interdisciplinario ya que el equipo de maestranza se enfrentaba por primera vez a la fabricación de piezas curvas con radios variables. El trabajo en conjunto por parte del equipo profesional y maestros soldadores nos ayudó a optimizar el mismo. La cubierta textil, pese a su gran resistencia a la tracción, es un material delicado durante el proceso de montaje cuando aún no tiene la forma definitiva. Es por esto que, las estructuras tuvieron que ser fabricadas con muy buenas terminaciones y con bordes suaves. El corte de acero por láser y CNC (control numérico por computadora) fue fundamental para lograr este objetivo. El modelo de fabricación al ser desarrollado totalmente en 3D podía ser revisado en conjunto con el equipo de proyectistas y soldadores permitiendo, mientras se efectuaba la fabricación, ir estudiando y resolviendo cada detalle.



IMAGENES DEL MONTAJE





Algunas conclusiones obtenidas sobre el proyecto, luego de tener unos años de uso, fue la versatilidad que adquirió la Multicancha al tener una cubierta con una tensoestructura. El uso deportivo se amplió a otras actividades como ceremonias y lugar de reunión. Los usuarios destacan la buena iluminación diurna ya que la membrana tiene protección UV del 100%, siendo a la vez traslúcida. En la noche, por la oscuridad, la membrana sirve como pantalla para eventos con efectos lumínicos. La cubierta incrementó el uso del espacio considerablemente hasta muy entrada la noche y durante los fines de semana con eventos para grupos infantiles. Además, también es usufructuado mediante su alquiler para otro tipo de eventos deportivos.

Este proyecto de estructura tensada conjugó variables arquitectónicas, estructurales y de fabricación especiales que nos llevó a estudiar en detalle cada una de las etapas de desarrollo. Las tensoestructuras tienen como principal característica que tanto la membrana como la estructura de soporte, son a la vez, materiales resistentes y de terminación. Cada pieza componente cumple con una función estructural, constructiva y estética pudiendo quedar a la vista. Este concepto nos dió un lineamiento que define cada uno de los encargos que enfrentamos hasta hoy.



El potencial de las

ESTRUCTURAS TENSADAS

en el Diseño Industrial

Autora: DI Alicia Brizuela Cáceres
Croquis: DI Osvaldo Ferreyra



IMAGEN OBTENIDA DE LA WEB

Las estructuras textiles, también llamadas tensoestructuras, están conformadas por membranas de espesor constante cuya forma superficial les otorga la capacidad de resistir cargas. Conforman un sistema constructivo- estructural que tiene como elemento principal “la tela” que, combinada con cables, puntales y mínimos elementos de soporte, alternando entre puntos altos y bajos, generan superficies de doble curvatura. Estas estructuras son usadas en gran escala como cobertura de estadios y edificios, y en menores dimensiones como recintos de permanencia que proveen de sombra y protección de los rayos UV.

Con un poco de abstracción, podemos ver recreado este sistema de textiles tensados, en reconocidos asientos como la silla BKF (de Antonio Bonet, Juan Kurchan y Jorge Ferrari – equipo argentino) y la silla Wassily (de Marcel Breuer - Bauhaus). En ambos casos, sus diseñadores fueron arquitectos pioneros de su época, que tenían el mismo objetivo de desmaterializar un producto, aportando una gran novedad y apertura a otros conceptos de confort.

El principio constructivo de las estructuras textiles también se puede ver aprovechado en productos de diseño y producción industrial como carpas, gazebos, veleros, etc.

Si analizamos con mayor profundidad las ventajas de este tipo de estructuras, entre ellas la ligereza y flexibilidad propias de los elementos que la constituyen, podremos ver la potencialidad en otras aplicaciones, como pueden ser las siguientes:

- Áreas domésticas y ornamentales: divisores de ambientes / pantallas de luminarias / equipamiento de descanso / almacenaje de alimentos
- Área agroindustrial: dispositivos para la cosecha de frutos de árboles / protección de heladas en cultivos
- Área de seguridad: estructuras para el rescate de personal en alturas / elementos textiles para la corrección postural en trabajos relacionados con la manipulación de cargas
- Equipamiento urbano: mobiliario lúdico

Para la confección de estas membranas textiles, la maquinaria necesaria para corte y uniones, admite el desarrollo de distintas escalas de producción industrial (con máquinas de coser semi-industriales e industriales, para unión de partes con hilo o máquinas de arco de calor para sellado térmico).

En las instancias de búsqueda y exploración morfológica y funcional, el uso de recursos como el diseño paramétrico y la disciplina del origami, permitirá ampliar sus posibilidades de aplicación. Profundizar en el estudio de los tipos de textiles, según la construcción de los diferentes ligamentos, capacitará al diseñador para experimentar con el límite de tensión de textiles planos y la implementación de telas de punto (con elasticidad).

Asimismo, se debe considerar que el material predominante (tela) es el segundo residuo más contaminante a nivel mundial, por lo que es fundamental trabajar con él en forma comprometida, de modo de disminuir estratégica y tecnológicamente, su impacto negativo en el ambiente. Para ello es indispensable un cuidadoso desarrollo de cada etapa productiva, apostando a la reutilización y el reciclado del producto.

Liviano, efímero, flexible, transformable, son algunas de las palabras que representan la potencialidad que brindan las tensoestructuras en este campo industrial, estimulando el desarrollo de nuevas habilidades profesionales, indispensables para el crecimiento y satisfacción de una exigente demanda de productos con menor insumo material y un ciclo de vida dentro de los objetivos de desarrollo sustentable.



IMAGENES OBTENIDAS DE LA WEB

Emplear los principios de comportamiento y la técnica constructiva de las tensoestructuras en una disciplina como el Diseño Industrial, puede convertirse en un recurso para maximizar la creatividad, que permitirá generar ideas innovadoras, incursionando con nuevas tipologías en tecnologías que hasta el momento no se han aplicado en algunos tipos de productos.

En este sentido, es importante aprovechar las posibilidades que brindan los diferentes tipos de revestimientos que se aplican (protección ignífuga, contra inclemencias atmosféricas, impermeabilización hidrófuga, etc.) para potenciar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las membranas y, profundizar en el diseño de los soportes que aporten estabilidad y rigidez formal.



SILLA BKF (DE ANTONIO BONET, JUAN KURCHAN Y JORGE FERRARI – EQUIPO ARGENTINO) Y SILLA WASSILY (DE MARCEL BREUER - BAUHAUS)



MODELOS DE ESTRUCTURAS
DESPLIEGABLES CON
BARRAS
RECTAS ARTICULADAS

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DESPLEGABLES CON BARRAS RECTAS ARTICULADAS

Casos de Estudio. Grupo de Investigación SMiA.

Autor: Omar Fabrisio Avellaneda Lopez
Profesor Asociado de la ETSAB – Universidad Politécnica de Cataluña

El presente artículo describe el desarrollo de estructuras desplegables, presentando un caso de estudio realizado como prototipo a escala real, apoyado en el diseño computacional y la fabricación digital: el Pabellón Vértex en el campus de la universidad de Monterrey, Méjico. Para la construcción del mismo se han utilizado principalmente barras de madera, tubos de PVC y cubiertas textiles. El caso de estudio presentado es uno de los realizados en el marco de la investigación y tesis doctoral de Omar Avellaneda, miembro y co-fundador del grupo de investigación SMiA.

La fabricación y el montaje del prototipo fueron realizados con el apoyo de los alumnos de la Escuela de Arquitectura, Arte y Diseño (EAAD) del Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, como

parte de una invitación para impartir el taller sobre Estructuras Desplegables. El taller se realizó en coordinación con el arquitecto Juan Talamás, miembro del grupo de investigación SMiA y profesor de la escuela de arquitectura.

El grupo de Investigación SMiA (Structural Morphology in Architecture) pertenece al Laboratorio de Innovación y Tecnología en la Arquitectura (LiTA) de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés (ETSAV). Somos un grupo de arquitectos y diseñadores en el campo de las estructuras ligeras, modulares y transformables. Nuestro trabajo se enfoca en el uso de nuevas estrategias de diseño para las estructuras ligeras aplicadas a la arquitectura. Con el uso de herramientas tales como el diseño paramétrico y la fabricación digital, buscamos explorar y expandir

las fronteras en la arquitectura transformable. Nos especializamos en el diseño, análisis y construcción de estructuras desplegables, basadas en el sistema tipo tijera o barras articuladas. Este tipo de estructuras se caracterizan por sus ventajas constructivas y estructurales como:

- Bajo peso y economía de costo.
- Cubrir grandes luces.
- Rápida ejecución.
- Elementos modulares que facilitan los procesos de fabricación y ensamblaje.
- Ahorro en mano de obra y trabajo in situ.
- Reutilización de la estructura.
- Estructuras efímeras y permanentes.
- Adaptabilidad y uso responsable del suelo.
- Transportable y almacenable.

El objetivo principal de nuestras investigaciones es, ofrecer a través de la morfología estructural, nuevas alternativas de diseño que permitan el desarrollo de aplicaciones arquitectónicas orientadas hacia la construcción ligera y la arquitectura transformable. Para ello, se han realizado exploraciones constructivas aplicando el sistema tipo tijera en diferentes propuestas arquitectónicas a nivel de prototipo, permitiendo desarrollar las uniones con un alto grado de detalle y validar las ventajas anteriormente mencionadas.



MODELOS A ESCALA DESARROLLADOS POR LOS ESTUDIANTES DEL MASTER EN ARQUITECTURA DE LA NOTTINGHAM TRENT UNIVERSITY (UK) EN UNO DE LOS WORKSHOPS IMPARTIDOS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN SMiA.



Nuestro equipo de investigación encuentra su inspiración en las geometrías complejas y en la morfología estructural, aplicadas a la arquitectura. Creemos en la formación temprana sobre las estructuras ligeras y transformables en los cursos de pregrado, estimulando a arquitectos y diseñadores a un uso racional y sostenible de los sistemas constructivos ligeros y espaciales. Arquitectos como Emilio Pérez Piñero y Félix Escrig han inspirado nuestro trabajo hacia una arquitectura adaptable y transformable. Escrig escribió en su libro "Modular, Ligero, Transformable. Un paseo por la arquitectura ligera móvil" sobre la importancia de construir maquetas y prototipos con estructuras desplegables y la importancia en la enseñanza y difusión de este tipo de estructuras, para su aplicación en la arquitectura .

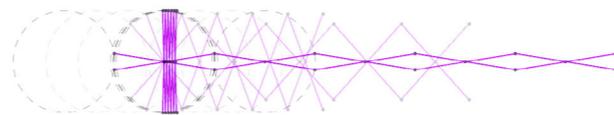
Diseño paramétrico de las estructuras desplegables

Las Estructuras Desplegables con Barras Rectas Articuladas (EDBRA), son sistemas desplegables formados por unidades simples de un par de barras articuladas en su centro y unidas en sus extremos a más unidades para formar sistemas o módulos. La agrupación de módulos da como resultado sistemas desplegables complejos.

Los sistemas desplegables han evolucionado en los últimos años con el avance de programas en diseño paramétrico, permitiendo que la modelación y pruebas de movimiento sean mucho más rápidas que antes. De esta manera es posible modelar sistemas desplegables complejos en corto tiempo. El diseño de movimiento implica tener una comprensión geométrica y espacial mucho más allá de los sólidos platónicos y de los polígonos y poliedros regulares.

La posibilidad de diseñar un sistema desplegable complejo mediante un código o algoritmo que permite modificar todas las variables necesarias, facilita el camino para experimentar con estos

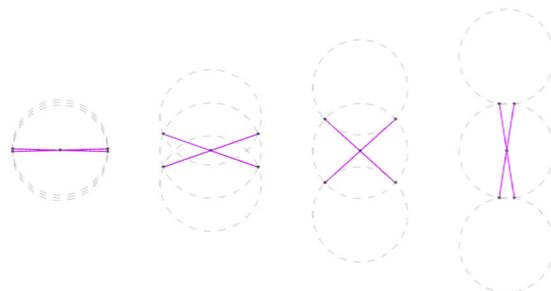
sistemas.



ESQUEMA GEOMÉTRICO DE UN SISTEMA DESPLEGABLE CON BARRAS RECTAS

Unidad Simple

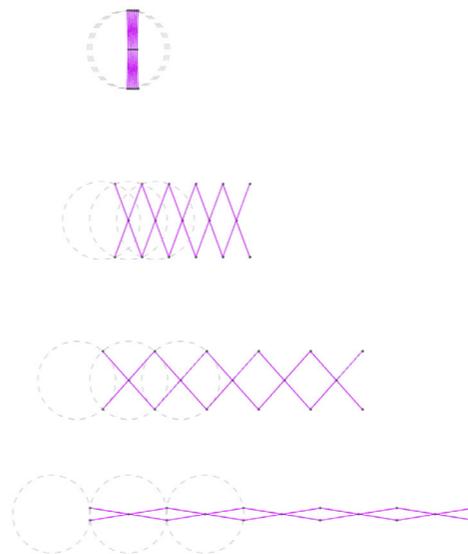
Las EDBRA son sistemas desplegables formados por una unidad simple de dos pares de barras rectas articuladas en su centro. Esta articulación central simétrica es la que hace que sus barras giren respecto a su centro marcando un recorrido circular. Los círculos que están inscritos en los extremos de cada barra se desplazan constantemente manteniendo el mismo eje central de su articulación. La intersección entre los círculos garantiza la longitud de las barras. A este conjunto lo llamaremos Unidad Simple.



DESARROLLO GEOMÉTRICO DE UNA UNIDAD SIMPLE DESPLEGABLE

Sistemas Axiales Rectos

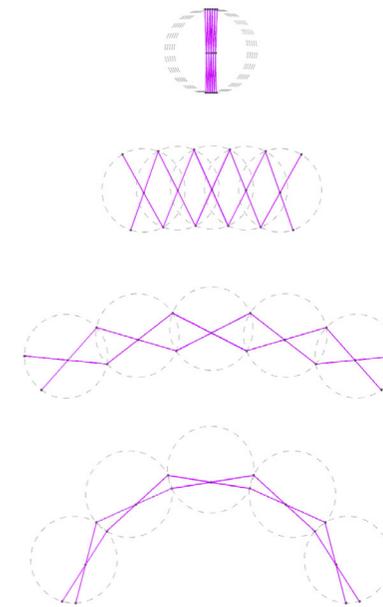
La agrupación de unidades simples con articulación en su centro construye un sistema desplegable lineal simple. El movimiento de una EDBRA lineal simple es vectorial. El sistema se alarga y llegará a su máxima longitud cuando los ejes a, b y c verticales se encuentren más alejados. En esta posición, el sistema logrará su máxima apertura.



SISTEMA AXIAL RECTO

Sistemas Axiales Curvos

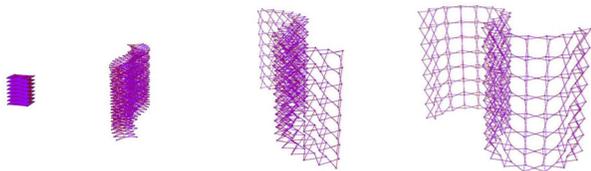
La agrupación de unidades simples con centros asimétricos construye un sistema desplegable lineal curvo simple. El movimiento de una EDBRA lineal curvo simple es polar. Recordamos que cada unidad simple asimétrica tiene un ángulo de referencia que cambia según la rotación de sus barras. La agrupación de la misma unidad asimétrica hace que todas las unidades tengan el mismo centro del ángulo de referencia como se observa en la siguiente figura.



SISTEMA AXIAL CURVO

Sistemas Biaxiales

Los sistemas biaxiales son los formados por unidades simples conectadas en dos direcciones o vectores de movimiento. La trayectoria geométrica que recorren los vectores de movimiento puede ser lineal recto o lineal curvo, y dependerá del patrón de combinación dado por las unidades simples. Los sistemas biaxiales pueden conformar superficies planas, monoclásticas, sinclásticas y anticlásticas.



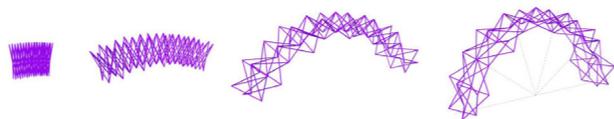
SISTEMA DESPLEGABLE BIAxIAL. PROCESO DE DESPLIEGUE

Sistemas Triaxiales.

Los sistemas triaxiales están formados por unidades simples agrupadas en tres direcciones o vectores de movimiento. La trayectoria geométrica que recorren los vectores de movimiento puede ser lineal recta o lineal curva. Esto dependerá del patrón de combinación dado por las unidades simples. Los sistemas triaxiales pueden conformar superficies planas, monoclásticas, sinclásticas y anticlásticas. Son los sistemas más complejos de agrupar, ya que, dependiendo del patrón o geometría, pueden tener restricciones parciales o totales de movimiento.

Para definir los parámetros de diseño de las unidades simples debemos partir de los polígonos desplegados y de sus posibles agrupaciones. En este caso partiremos del polígono desplegable

mínimo que es el triángulo, de modo de obtener un módulo triaxial desplegable con sección triangular.

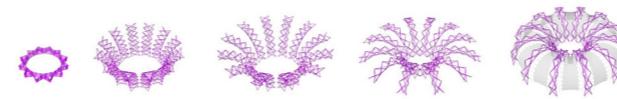


SISTEMA DESPLEGABLE TRIAXIAL. PROCESO DE DESPLIEGUE. ARCO MÓDULOS HEXAGONALES.

Sistemas desplegables especiales

Para la conformación de las EDBRA compuestas por sistemas desplegables, será necesario elegir uno de los sistemas desplegables vistos, que se utilizará como un módulo compuesto o elemento constructivo para agrupar.

Lo primero es definir las EDBRA como un sistema compuesto. Esto quiere decir que la estructura estará formada por dos, tres o más sistemas desplegables con compatibilidad de movimiento y se modularán según la geometría y búsqueda de la forma, siempre buscando una aplicación arquitectónica. El objetivo es usar los sistemas desplegables como elementos constructivos y modularlos para formar una estructura desplegable compuesta que se pliegue por partes. Según la cantidad de sistemas desplegables agrupados, se abre un abanico de posibilidades y agrupaciones espaciales para explorar. Como se mencionó anteriormente, la idea es diseñar estructuras desplegables espaciales con aplicaciones arquitectónicas y, el sistema desplegable ideal para iniciar esta exploración es, el arco desplegable. Recordemos que tenemos tres tipos de arcos desplegables, uno biaxial y dos triaxiales.



SISTEMA DESPLEGABLE ESPECIAL. PROCESO DE DESPLIEGUE. TORUS.

Caso de estudio: Sistemas Desplegables Abiertos

Los sistemas desplegables abiertos son estructuras que requieren de elementos adicionales al sistema para estar en equilibrio en su estado de uso o despliegue. Es decir, que no son auto portantes cuando están desplegadas en su posición final y por lo tanto requieren de elementos adicionales como barras, cables o, en algunos casos, textiles, para estar en equilibrio.

El caso de estudio que presentamos (Pabellón Vértex), está formado por arcos desplegables de sección triangular que, orientados con determinada geometría, forman una estructura desplegable.

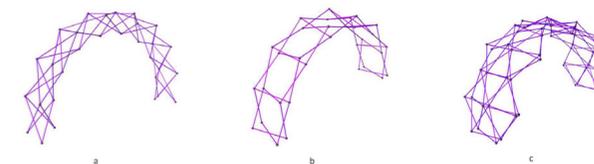
A continuación, describiremos la construcción geométrica y el diseño paramétrico del arco desplegable con sus agrupaciones. Se aplicarán condiciones básicas de contorno para el análisis de tensiones y deformaciones de la estructura y los procesos de fabricación y montaje del prototipo a escala humana.

Geometría y Parametría del arco desplegable

La geometría de Pabellón Vértex nace de la hipótesis de diseñar y construir una estructura desplegable de mediana escala que no constituya simplemente la agrupación de módulos siguiendo una superficie definida.

El elemento constructivo base seleccionado para el diseño del Vértex fue el arco desplegable. Mediante el agrupamiento de varios módulos base se buscó generar un espacio construido de escala intermedia.

El arco desplegable con barras rectas articuladas más simple es el formado por unidades simples asimétricas. Si la asimetría se aproxima a cero, el arco tendrá una proyección de curvatura cercana a una línea recta. Si la asimetría de la unidad simple aumenta, el arco tendrá una proyección de curvatura más pronunciada. Con el principio de agrupación de las unidades simples asimétricas, es posible construir tres tipos de agrupación espacial por módulos: un arco desplegable con módulos en forma de prisma de base triangular, uno con módulos desplegables cuadrados y un tercero, con módulos desplegables hexagonales.

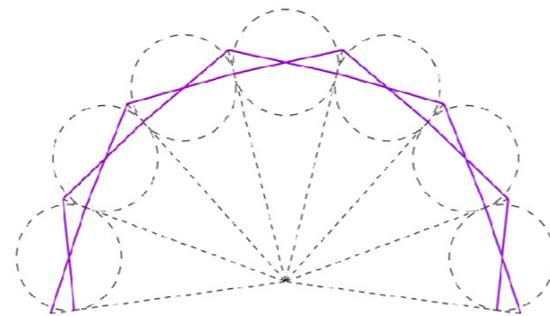


TIPOS DE ARCOS DESPLEGABLES. (A) ARCO MÓDULO TRIANGULAR. (B) ARCO MÓDULO CUADRADO. (C) ARCO MÓDULO HEXAGONAL.

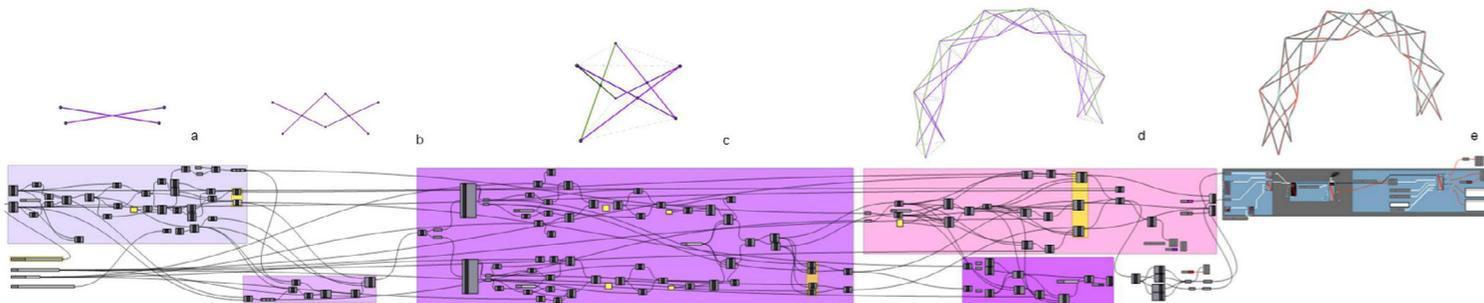
La opción seleccionada para el prototipo que se construyó fue la del arco de sección triangular. La elección se basó en que la misma constituye la geometría más estable (el triángulo) y, además, en su diseño se utilizan menos elementos rectos, por lo que consume menos material y torna más ligera a la estructura resultante. Otro punto a su favor, es la estabilidad durante el proceso de despliegue y en su estado de uso, considerando que las EDBRA están conformadas por barras articuladas, lo que produce una

inestabilidad de movimiento, y el arco desplegable de sección triangular es el que menos articulaciones tiene.

El diseño paramétrico para un arco desplegable consiste en formar un módulo de barras articuladas de sección triangular. El módulo está formado por 3 pares de unidades simples desplegables: una unidad simple simétrica o con la articulación en su centro y dos unidades simples asimétricas o con su centro desplazado. Las tres unidades simples están inscritas en un prisma de base triangular. La curvatura del arco desplegable espacial está dada por los dos pares de tijeras con sus centros desplazados o unidades asimétricas. Recordemos que, según la posición de la articulación asimétrica de las barras, la curvatura definida será más o menos pronunciada. Por tanto, la asimetría del par de tijeras es la que define la curvatura del arco desplegable.

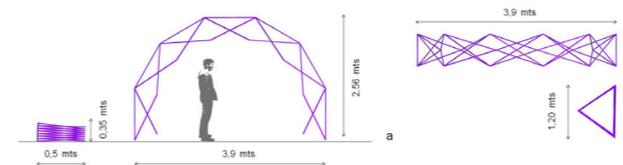


GEOMETRÍA DE MOVIMIENTO PARAMÉTRICO ASIMÉTRICO



ALGORITMO RHINO + GRASSHOPPER PARA DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO DEL ARCO DESPLEGABLE

Una vez diseñado el módulo desplegable de sección triangular, se agruparon módulos con asimetría exterior para formar el arco desplegable.



GEOMETRÍA DEL ARCO DESPLEGABLE

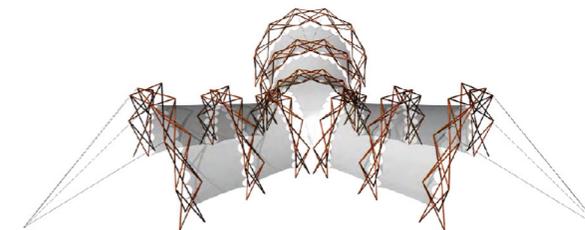
Cada arco está formado por 7 módulos triangulares, con barras de entre 1,06 m y 1,20 m de longitud. El arco en su estado abierto ocupa un área de 2,7 m² y posee una habitabilidad de 2 m² aproximadamente. Las dimensiones fueron controladas y definidas previamente con el diseño paramétrico para lograr una forma de arco transitable en su interior con el fin de agrupar los arcos para formar la geometría final de la estructura.

Una vez definida la geometría del arco desplegable, el siguiente paso era definir el tipo de agrupación a usar para configurar la forma final del prototipo.

Para el prototipo se decidió una agrupación radial de arcos, que daría mayor rigidez al sistema, cubierta con una membrana textil que definió finalmente tres túneles concéntricos.

El Pabellón Vértex está formado por 9 arcos desplegables, divididos en 3 grupos, con dimensiones crecientes desde el centro. Cada grupo consta de 3 arcos de igual tamaño. Un primer grupo de arcos más pequeños son los que forman el núcleo central del prototipo, con aberturas a 120°. Un segundo grupo de arcos medianos constituyen el anillo intermedio. Finalmente, un tercer grupo de

arcos más grandes, son los que forman el anillo exterior con los accesos a cada túnel del prototipo.

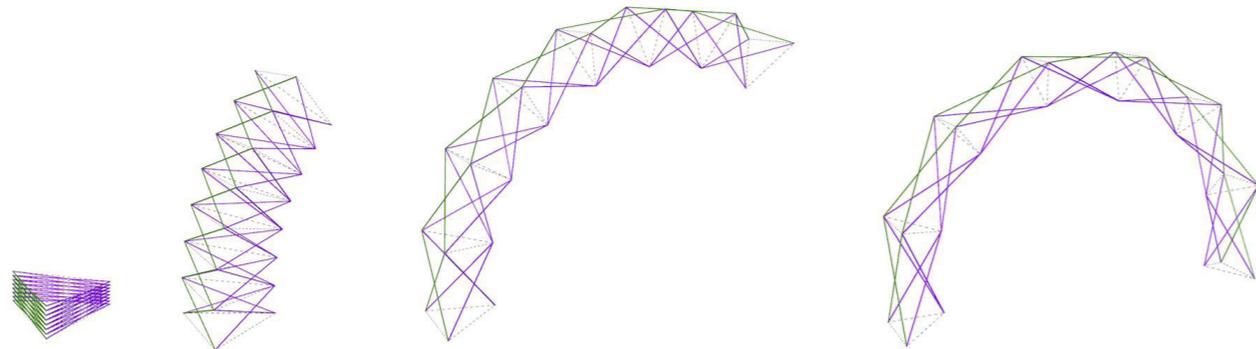


VISTA DEL PABELLÓN VÉRTEX FORMADO POR 9 ARCOS DESPLEGABLES CRECIENTES.

Fabricación del prototipo: Pabellón Vértex

Como se mencionó anteriormente, la fabricación y el montaje del prototipo para el pabellón fueron realizados por estudiantes y docentes en el marco de un Taller sobre Estructuras Desplegables. La propuesta geométrica del pabellón Vértex consistió en el diseño de la geometría del arco desplegable como primer paso, y luego en la propuesta de agrupación para definir la configuración final de la estructura.

Para nuestro caso de estudio, el arco desplegable está formado por 7 módulos. Cada módulo está formado por 3 unidades simples desplegables, una unidad simétrica y dos unidades asimétricas, unidas por 6 articulaciones compuestas. Por lo tanto, cada módulo desplegable está formado por 6 barras rectas y 6 articulaciones compuestas. El total de elementos para la construcción del arco desplegable con 7 módulos triangulares es de 14 barras simétricas, 28 barras asimétricas y 24 uniones compuestas.



SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO PARAMÉTRICO PARA EL ARCO DESPLEGABLE



MODELOS A ESCALA DEL ARCO DESPLEGABLE USANDO MÉTODOS DE FABRICACIÓN DIGITAL



DETALLE CONSTRUCTIVO PARA LAS ARTICULACIONES COMPUESTAS Y LOS SISTEMAS DE BLOQUEO DE MOVIMIENTO

Para las articulaciones compuestas se fabricaron anillos con tubos de PVC, con una doble capa de puntos de articulación. De esta manera, una misma articulación compuesta recibía las barras del primer módulo en una capa o eje de unión y, en una segunda capa, las barras del siguiente módulo. Esta solución constructiva daba fluidez al movimiento del arco.

Definido el diseño paramétrico del prototipo, se realizaron comprobaciones de movimiento y simulaciones con el software y ensayos de comportamiento geométrico en maquetas, es decir, posibles deformaciones o pandeos de las barras durante el movimiento del arco.

Teniendo en cuenta la manipulación manual de los elementos que conforman el arco desplegable y el arco ya armado, las dimensiones propuestas debieron contemplar la facilidad en

el control y manejo de no solo los elementos individuales sino también, de la estructura de un arco en su estado cerrado y de la agrupación completa en la posición definitiva.



PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE. TECNOLÓGICO DE MONTERREY, MÉJICO.



96

Durante el proceso se fabricaron cada una de las piezas y se construyeron los 9 arcos independientes que formaron la estructura final. Para cada arco terminado se hicieron pruebas de movimiento, de estabilidad y verificación de rotura de cada barra de madera, para garantizar estabilidad, resistencia y rigidez.

Paralelamente, se trabajó el mecanizado y patrón del textil tipo lycra que iba a cubrir la estructura. Este patrón fue previamente diseñado en Grasshopper, calculando una tolerancia de tensión que nos permitiera instalar la cubierta tipo lycra con una tensión admisible sin llegar a la rotura. Los patrones hechos en lycra se fabricaron con huecos perimetrales, con ojales metálicos y separaciones de 50 cm. Estos puntos son los anclajes de tensión entre la tela y la estructura en madera.

El montaje de la estructura final se realizó en 2 horas. El primer paso consistió en dibujar en el terreno la geometría del prototipo y fijar cada uno de los arcos en los puntos de referencia. Los arcos se instalaron del centro hacia afuera, según su tamaño.

Primero se instaló el núcleo y se verificó la estabilidad de cada arco. Luego se instalaron los arcos intermedios y finalmente los arcos externos. Cada arco fue anclado al terreno en sus puntos de apoyo y se estabilizaron con anclajes de bloqueo de movimiento. Los materiales empleados para la construcción de los arcos fueron: madera de pino, para las barras articuladas, de 27 mm por 10 mm de sección, tubos de PVC de 5mm de diámetro para las uniones y tornillos M3 de 3 mm de diámetro, con tuercas autobloqueantes para las uniones de las articulaciones entre barras y tubos.

ENSAMBLADO DE UN ARCO DESPLEGABLE



PRUEBA DE MONTAJE PARA EL NÚCLEO DEL VÉRTEX.

97



Posteriormente, se instaló la cubierta textil de lycra. De igual forma que con el montaje de la estructura, se inició su instalación del centro hacia afuera. La tela, por sus características de tensión, ejercía empuje en los arcos hacia el interior, por lo que fue necesario la instalación de cables de tensión en los arcos exteriores para estabilizar dichas cargas y empujes producidos por la tela. Debido a que la estructura fue instalada en campo abierto, se tomó la decisión en el sitio de hacer perforaciones a la tela con el fin de reducir la resistencia a las cargas del viento que podrían ocasionar la rotura de las barras de madera.

Finalmente, luego de la colocación de los cables a tensión para estabilizar la estructura, se revisaron las barras de madera, chequeando que no presentaran fracturas producidas durante el proceso de fabricación o mecanizado. Se revisaron también los puntos de anclaje entre la tela y la estructura para aliviar tensiones y así evitar roturas o rasgaduras.





MIRALO AQUÍ



El Pabellón Vértex se usó inicialmente durante su presentación, al finalizar el ejercicio académico y durante 3 días. Posteriormente, ha sido utilizado en eventos y actividades lúdicas dentro del campus. Estimamos que, por la naturaleza de la baja resistencia a los agentes externos de los materiales utilizados, el prototipo pueda alcanzar una vida útil de 1 año y medio a dos años.

Discusión y conclusiones

La construcción de un prototipo a escala humana requiere no sólo del interés académico y el soporte económico de las instituciones, sino que también de la ayuda del recurso humano para tareas de mecanizado del material y ensamblaje. En este sentido, corresponde agradecer a los estudiantes y colaboradores de la universidad donde se realizó la experiencia descrita. La experiencia colectiva de construir prototipos en el marco de un Taller de Estructuras Desplegables, permite nuevos enfoques para la resolución de aspectos constructivos no previstos en la etapa de diseño.

Como parte de una metodología de diseño paramétrico y construcción de prototipos a escala humana, esta experiencia sirve como guía para futuros trabajos, aportando en la mejora de procesos y, el estudio de tensiones y deformaciones hechos para el caso de estudio descrito, fueron parte de esta búsqueda, a modo de un análisis orientativo para el proceso constructivo, y no como modelo de cálculo.

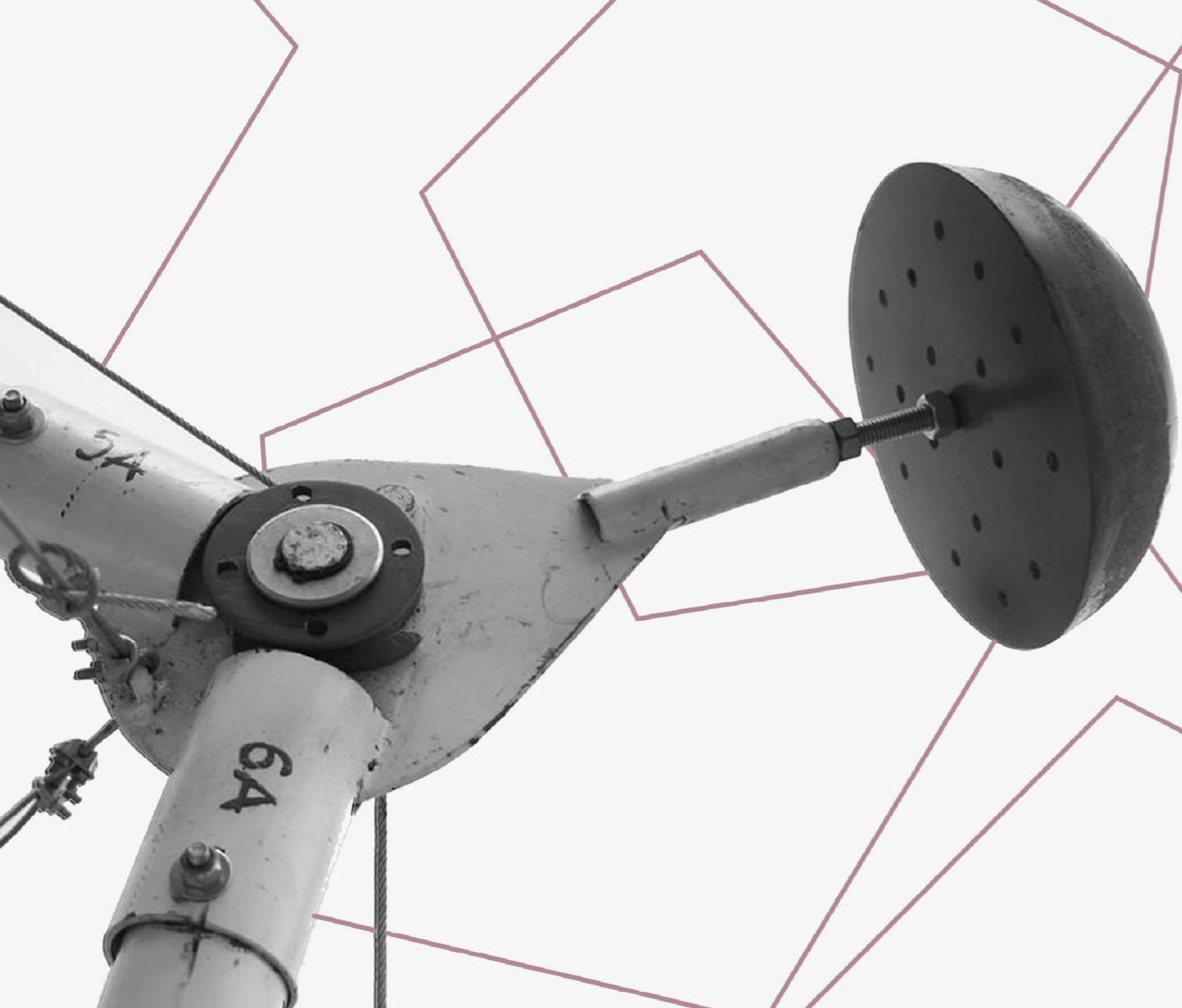
La construcción de prototipos de bajo costo en esta investigación, permite continuar explorando materiales y detalles constructivos para las EDBRA que se puedan estandarizar para el desarrollo de un sistema constructivo desplegable que tenga una aplicación en la industria de la construcción y la arquitectura.

Con la ayuda del diseño paramétrico y nuevas técnicas de fabricación digital, el diseño de las estructuras desplegables

adquiere una mayor importancia y facilita los procesos de comprobación de movimiento y búsqueda de la forma, razón por la cual reduce considerablemente los procesos de diseño y amplía el panorama de posibilidades en la búsqueda de nuevas geometrías y agrupaciones desplegables.

Referencias

- [1] O. Avellaneda. Diseño Paramétrico de las Estructuras Desplegables, control límite de movimiento. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 2020.
- [2] M. Mendoza, O. Avellaneda, D. Peña. Learning by doing: Fostering creativity in the teaching and learning of deployable structures in architectural education. Creativity in Structural Design Proceedings of the IASS Annual Symposium. Boston USA, 2018.
- [3] O. Avellaneda, "Deployable Structures System, Hexagonal X-frame. Three Case Studies" ARCHI DOCT, 14 February, v. 4, n. 2, p. 41-56, 2017.
- [4] O. Avellaneda, M. Mendoza, D. Peña, Vértex Pavillion. Deployable Arches Structure with Triangular Section. Proceedings of the IASS Annual Symposium 2020/21 and the 7th International Conference on Spatial Structures. Inspiring the Next Generation. UK, 2021.
- [5] New Proposal for Transformable Architecture, Engineering and Design. In honor of Emilio Pérez Piñeros. 18th, 20th september 2013. Abstract book. Félix Escrig & Jose Sanchez. Sevilla, Spain. ISBN: 978-84-939565-3-0
- [6] Modular, ligero, transformable: un paseo por la arquitectura ligera móvil. Félix Escrig Pallarés. Universidad de Sevilla, 2012. ISBN: 97884472142



TESIS UNO:UNO

Autores: Arqs. Pablo Lista, Maximiliano Torchio, Diego Veglio y Marcos Vega Ojeda.

Cátedra Arquitectura VIA-FAUD-UNC: Prof. Titular Arq. Alejandro Cohen, Prof. Adjuntos Arqs. Alberto Baulina y Cristian Nanzer; Prof. Adjunta Especialidad Estructuras: Arq. María del C. Fernández Saiz; Prof. Asistente: Arq. Javier Giorgis.

TESIS 1 EN 1

Autora: María del Carmen Fernández Saiz, directora del Taller de Investigación de Diseño Estructural, FAUD - UNC

El presente trabajo describe una experiencia realizada en la FAUD, en la que se ha participado activamente desde la etapa de gestación de la idea y conceptualización, hasta su concreción, asesorando a los estudiantes durante todo el proceso, en los temas específicos de estructuras. Este ejercicio persigue, desde lo pedagógico, la síntesis de conocimientos teóricos y prácticos adquiridos previamente y aplicados a una construcción real con recursos y tiempos definidos. Es lo que denominamos la PRAXIS del aprendizaje, como culminación del proceso, o punto de partida de nuevas experiencias.

Contexto

El Taller de Investigación de Diseño Estructural (TIDE) se dedica, desde 1992, a la investigación en el diseño de estructuras, al dictado de materias en el grado y en el posgrado y a tareas de extensión, consultorías y asesoramientos técnicos. Desde este espacio académico se prioriza la constante

relación entre los contenidos básicos del diseño estructural y su transferencia al diseño arquitectónico, intentando siempre contextualizar cualquier ejercicio de resolución práctica. Se pretende formar al alumno en la disciplina “estructuras” en relación al diseño arquitectónico integral, capacitándolo fundamentalmente en el diseño conceptual de la estructura.

En consecuencia, las experiencias de construcción 1 en 1 se presentan como una oportunidad para ensayar procedimientos proyectuales que permiten la verificación del manejo de los aspectos tecnológicos desde la misma génesis del proceso proyectual, sobre la base de un conocimiento conceptual del diseño estructural y de las lógicas constructivas que posibiliten su materialización.

Incentivar exploraciones de estas características surge como metodología alternativa para transferir conocimientos teóricos disciplinares.



TESIS 1 EN 1

Se relata la experiencia de un equipo de estudiantes de la carrera de arquitectura de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la UNC que, con el aval de la Cátedra de Arquitectura 6A (Tesis), propusieron la realización de un proyecto construido en escala real, como trabajo final de carrera.

La idea encuentra su inspiración en el Workshop Torres de Papel que se dictó en la misma facultad (2015). En esa oportunidad, a partir de un material singular (tubos de cartón) se ensayaron prototipos estructurales para lograr modelos que dieran soporte a módulos espaciales.

Se puede citar como referencia más próxima la modalidad de Trabajo Final de Carrera que se ha implementado, desde el año 2004, en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Talca, Chile. Con el nombre “Obra de Titulación”, los alumnos deben desarrollar e implementar su trabajo de titulación como una Obra Construida, lo que permite verificar que las competencias respectivas estén debidamente instaladas en el estudiante que obtiene el título de arquitecto y para lo cual la obra construida ha demostrado ser el indicador preciso.

Este formato presenta para los futuros profesionales, y también para los profesores, el desafío académico de abordar métodos alternativos para transferir y verificar los contenidos teóricos de la disciplina, considerando el perfil profesional que deben tener nuestros egresados.

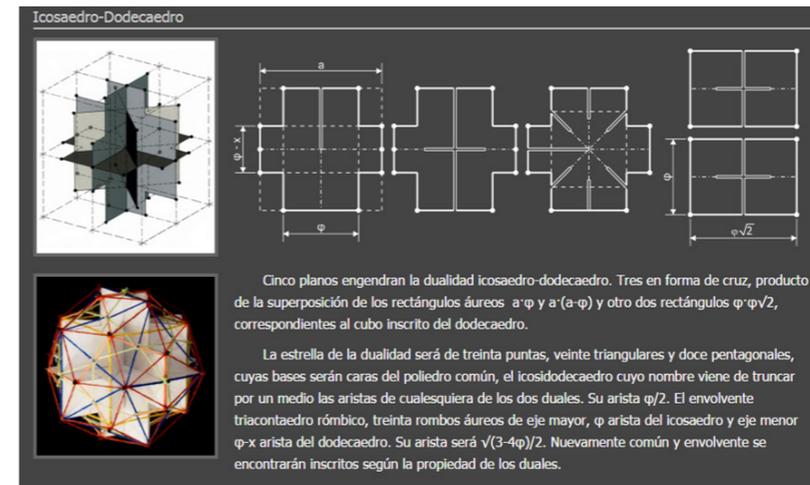
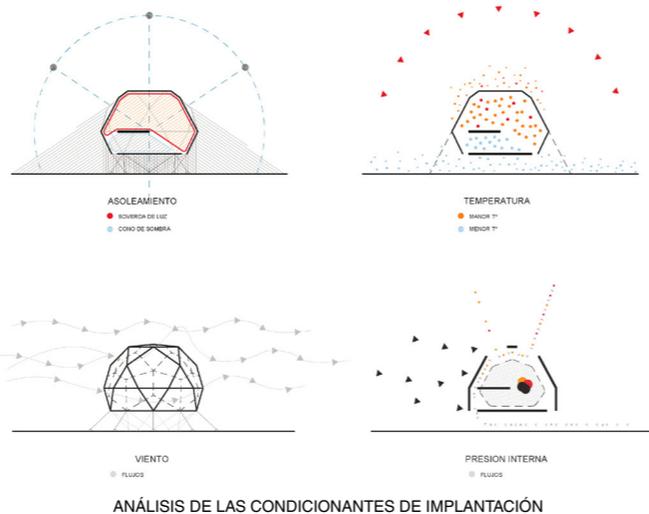
RENDER

La construcción en escala real incorpora un vasto campo de investigación tecnológica y material y es a partir de la experiencia previa de construcción 1 en 1 que se definieron las herramientas, instrumentos y metodologías necesarias para comenzar el nuevo proceso.

Como parte de un proceso de investigación de arquitectura alternativa, el equipo propuso un módulo de emergencia a emplearse como refugio temporal en caso de desastres naturales, pensado en función a variables económicas, climáticas y tecnológicas características de nuestro medio.

Se diseñó un módulo arquitectónico-estructural que, en colaboración con una cobertura tensada de material impermeable y aislante, resolviera las necesidades de cobijo y privacidad en situaciones extremas.

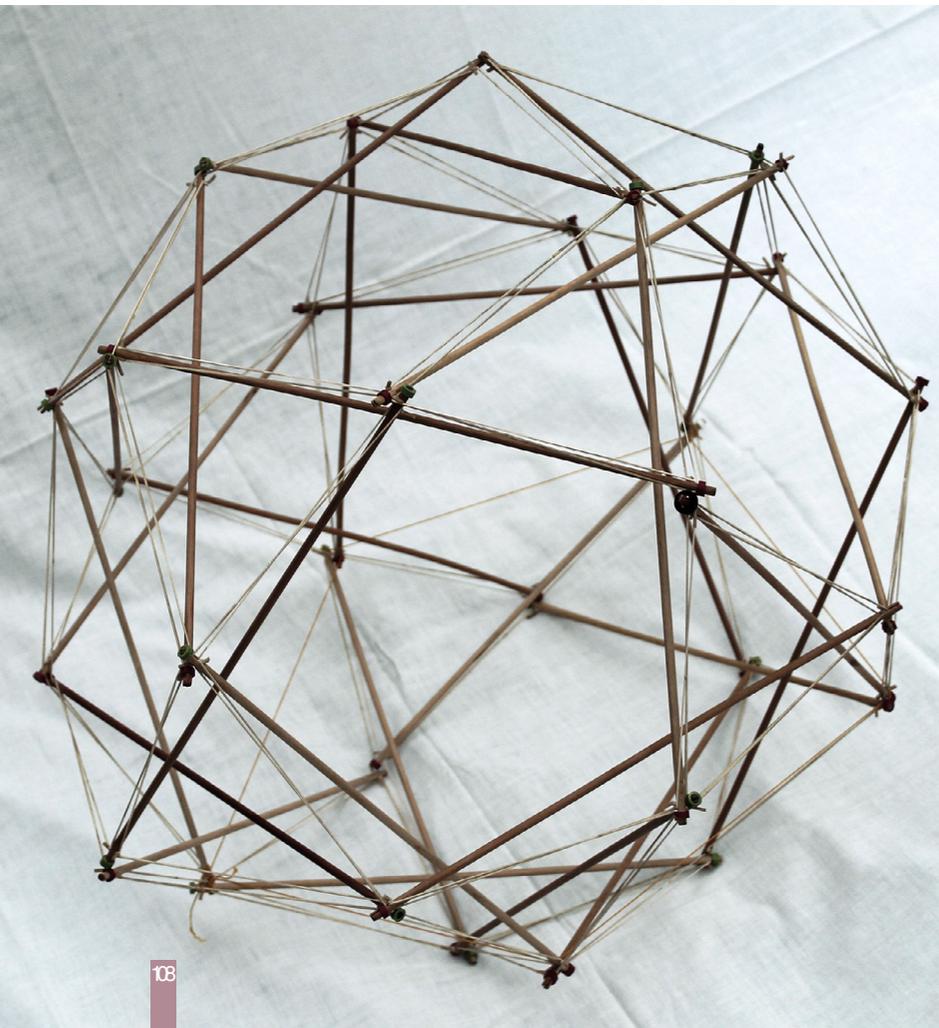
Algunos de los supuestos previstos para el proyecto fueron: ligereza, resistencia, facilidad de traslado y montaje, de bajo impacto ambiental, el uso de tecnologías accesibles y la sustentabilidad de los procesos de producción. Todas estas facultades, bajo el propósito principal de permitir responder con inmediatez ante la necesidad de albergue provisorio en situación de crisis.



La búsqueda de la forma estructural

Para la definición de la estructura se profundizó en la investigación sobre las "Tensegrity", estructuras reticuladas conformadas por componentes aislados comprimidos, unidos únicamente por medio de componentes traccionados (cables) que son los que delimitan espacialmente dicho sistema.

Se comenzó a diseñar a partir de maquetas a escala, definiendo entramados estructurales complejos conformados por elementos filares a tracción y compresión, que se vinculaban entre sí, de manera de asegurar la estabilidad espacial del conjunto. Cada módulo fue definido con pequeñas variaciones de la geometría.



Una maqueta real, que permite al estudiante experimentar geometrías y tipologías estructurales con elementos y materiales diferentes, conjuga funcionamiento y forma de una manera empírica-experimental, probando distintas alternativas, hasta lograr el correcto criterio de estabilización y rigidización del sistema estructural.

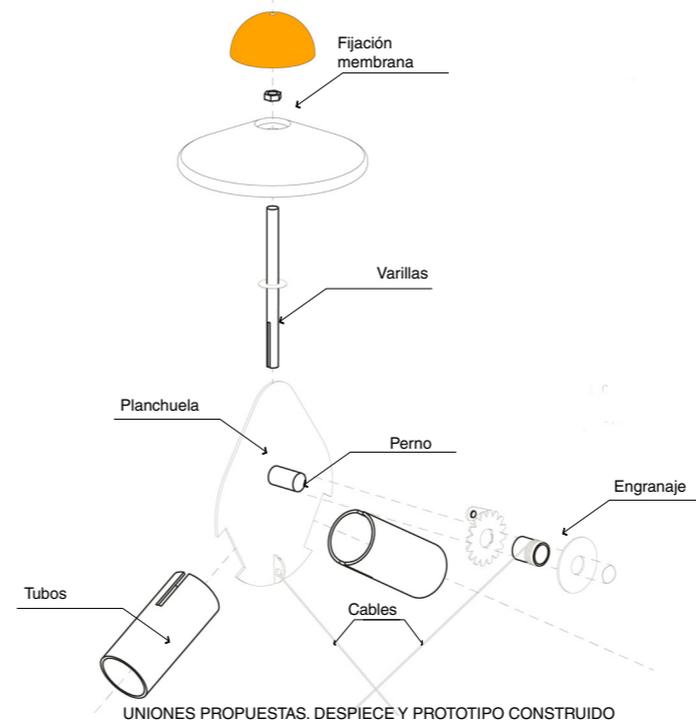
El análisis del comportamiento estructural de los modelos físicos permitió inferir sobre el tipo de solicitaciones que actúan sobre cada componente estructural y reconocer los puntos críticos que deben resolverse para garantizar la factibilidad constructiva.

El mecanismo finalmente se conformó por un sistema tridimensional complejo de marcos rígidos vinculados a través de una red de tensores que le proporcionó estabilidad espacial a la estructura. Los marcos de figura pentagonal estaban conformados por barras tubulares de 3 metros de longitud, vinculadas entre sí por chapas nodales especialmente diseñadas para garantizar la continuidad entre barras.

Definición material

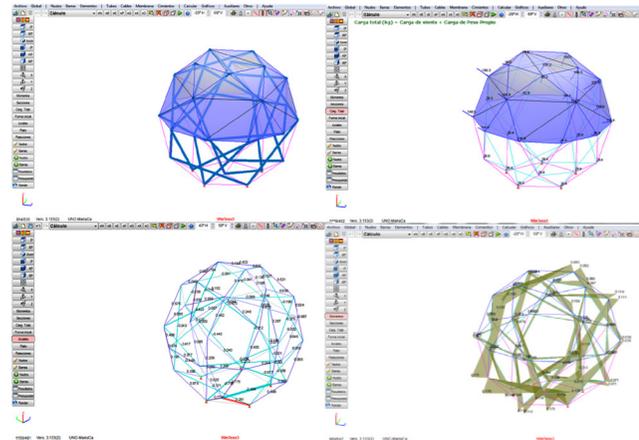
Considerando las posibilidades de obtener financiamiento para la construcción del proyecto, y su posterior traslado y montaje en otros espacios, se resolvió trabajar con tubos de acero, para las piezas sometidas a compresión y flexión, y cables estructurales galvanizados para los elementos de tracción.

Para el diseño de las uniones se utilizó también acero. La pieza, diseño original del equipo, consistía en una chapa nodal fabricada de manera artesanal que vinculaba las barras rígidas del sistema entre sí con los cables pretensados. Estos nudos, conformados por planchuelas soldadas con varillas y terminales, generan una unión rígida entre los tubos que conforman los marcos estructurales, permitiendo enhebrar los tensores pasantes y pretensar los terminales, mediante un sistema de perno y engranaje giratorio, y fijar la membrana de cubierta.



Modelado con software para la evaluación de deformaciones y verificación seccional

En paralelo, se construyó el modelo digital de la propuesta con el programa Win Tess¹, específico para diseño y cálculo de tensoestructuras, para realizar la evaluación de deformaciones y la verificación seccional de los componentes de la estructura para las diferentes combinaciones de cargas fijadas por el reglamento. Este modelado sirvió también para la representación precisa de la geometría de la estructura, que permitiría el replanteo en obra y el patronaje y confección de la cubierta.



MODELADO CON SOFTWARE WIN TESS. ESTRUCTURA, ACCIONES DE VIENTO Y SOLICITACIONES EN BARRAS.



UNIONES Y MARCOS RÍGIDOS.

El problema del montaje

Para el montaje debía considerarse la inclinación de los elementos principales, por lo que se decidió construir previamente los marcos rígidos al pie de obra, lo que permitió reducir la demanda de trabajo aéreo.

Se construyó una estructura provisoria de andamios para el trabajo en el aire y para el izado manual de los marcos.

Las longitudes de las barras componentes resultaron finalmente de 2 metros (originariamente eran 3 metros), ya que se modificaron en función de la altura de los andamios disponibles.

Durante todo el proceso de construcción se contó con elementos de apuntalamiento transitorios que fueron retirados luego de enlazar los cables y aplicarles la tensión de diseño.

Con la ayuda de elementos auxiliares se replantearon las coordenadas para el izado del primer marco que daba origen al montaje del sistema completo y que, debido a su geometría, complejizó la tarea, demandando más tiempo y mano de obra de lo previsto por el equipo y generando dudas sobre su factibilidad para ser utilizado como sistema de fácil montaje.

El corte de las piezas, así como la manufactura de todos los elementos de unión, se realizó de modo artesanal, al igual que la confección de la cubierta de tela tensada. Esta condición generó errores en las dimensiones de las piezas, complicando el proceso de montaje, obligando al equipo a rehacer algunas de ellas y a efectuar ajustes en obra, los que se percibieron como detalles mal resueltos.



PROCESO DE MONTAJE. ESTRUCTURA AUXILIAR



MONTAJE EN OBRA. MAQUETA DE ESTUDIO Y ANDAMIO AUXILIAR CONSTRUIDO

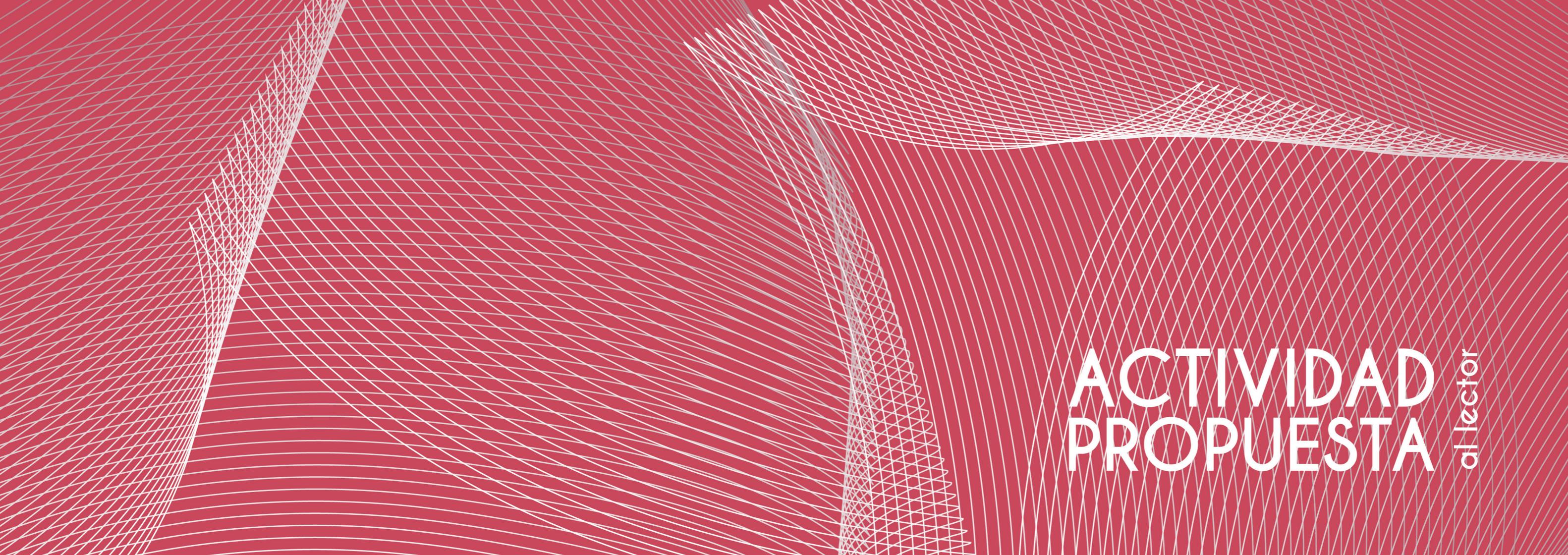


Como retroalimentación sobre esa experiencia, se considera deseable incorporar el modelado digital, articulando con un software de control numérico, que permita mayor exactitud en las medidas y en la producción de detalles, con la posibilidad de realizar los ajustes necesarios a partir de sucesivos replanteos durante el montaje y que incluya la mejora de los vínculos entre elementos estructurales, tendientes a optimizar la estructura y facilitar el proceso de montaje. En este sentido, el sistema de construcción propuesto, abre la posibilidad de ensayar trabajos interdisciplinarios, entre los campos del Diseño Industrial y la Arquitectura, y la problemática de la producción industrial vinculada al medio.

CONCLUSIONES Y OPORTUNIDADES

Como estrategia pedagógica, la construcción de prototipos en escala real, incorpora la investigación tecnológica y material en el proceso de aprendizaje y permite la puesta en práctica de los conocimientos teóricos e instrumentales aprendidos en la carrera, al tiempo de incorporar, como parte de la pertinencia de la disciplina, la complejidad de la programación y logística de llevar adelante la concreción de un proyecto. Este tipo de experiencias capacita a los estudiantes para ejercitar un juicio crítico y comprender las instancias no resueltas en la etapa de proyecto, y posibilita que operen como verdaderos agentes de la construcción de sus saberes, responsables de sus propios procesos de aprendizaje. En este proceso de formación, los docentes reconocemos el principio de integración del conocimiento como un método de enseñanza adecuado para la consecución de los objetivos didácticos y pedagógicos formulados. Incentivar exploraciones de estas características surge como metodología alternativa para transferir conocimientos teóricos disciplinares. Los modos y los espacios de aprendizaje pueden replantearse y evolucionar como respuesta a los nuevos paradigmas que tienden a poner en valor los aspectos técnicos de la arquitectura contemporánea. Este trabajo final de carrera obtuvo el Primer Premio BIAAR 2016 en la categoría Prácticas Académicas, Área técnica, artesanía e industria.





ACTIVIDAD PROPUESTA

al lector

ACTIVIDAD PROPUESTA al lector

Autoras: Arq. María del Carmen Fernández Saiz y Arq. Julieta Mansilla
Gráficos: Sergio Benejam y Matías Solís

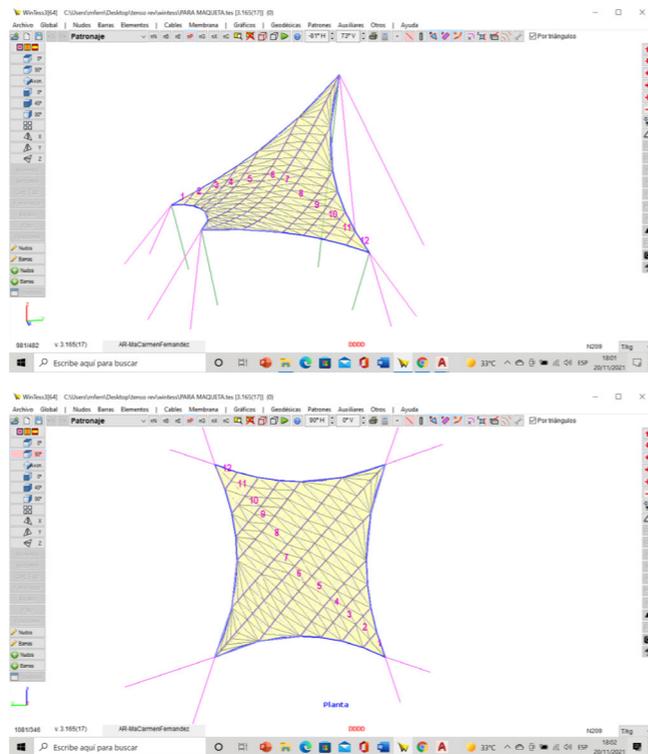
CONSTRUCCIÓN DE MAQUETA A ESCALA

Se emplea la construcción de modelos analógicos como un medio de representar en forma simplificada las características y rasgos más esenciales de una estructura. Es una herramienta esencial en todo proceso de diseño arquitectónico, porque permite, según las diferentes escalas de construcción, representar y ajustar diversas variables como la geometría, proporciones, materialidad, relación con el entorno urbano o natural, espacio interior, etc.

En las estructuras tensadas o tensoestructuras, la maqueta surge como instrumento fundamental de diseño y definición morfológica ya que, permite visualizar las geometrías complejas de las membranas (superficies de doble curvatura) y la espacialidad que generan, de modo de tener mayor dominio sobre las formas resultantes. Asimismo, la principal ventaja de estos modelos es que permiten experimentar a escala reducida el equilibrio de fuerzas, comprender la naturaleza de los esfuerzos que deberá soportar cada uno de los principales elementos componentes (cables y membranas a tracción) y entender la necesidad de una estructura de soporte capaz de garantizar la estabilidad espacial del conjunto (vientos o tensores a tracción, mástiles o arcos a compresión, fundaciones de anclajes, etc.).

Como actividad pedagógica, se propone la construcción de un modelo a escala, generado con el software Win Tess, creado por el Dr. Arq. Ramón Sastre (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña).

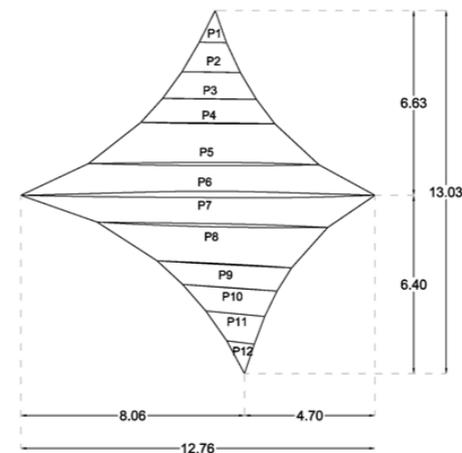
Para la construcción de este modelo se proveerá la geometría generada con el programa, los patrones de corte en un archivo de CAD extensión DWG y las referencias para su confección.



IMÁGENES DEL MODELO A REPRESENTAR

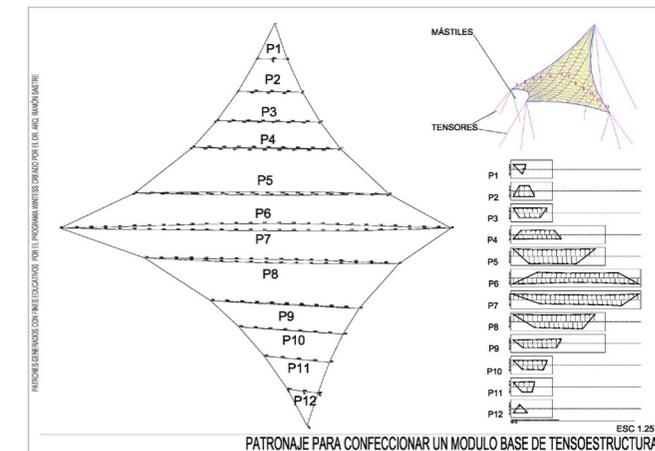
En primera instancia, se propone la impresión en papel del modelo con la finalidad realizar una verificación preliminar de la geometría de cada uno de los moldes que conforman la membrana para detectar posibles errores, evaluar las dimensiones de los márgenes (offsets) de cada molde, y el diseño de los accesorios que deberán añadirse posteriormente para la confección de la membrana de doble curvatura.

Luego, se procederá a pasar los patrones a la tela seleccionada (preferentemente una lycra con elasticidad en ambas direcciones).

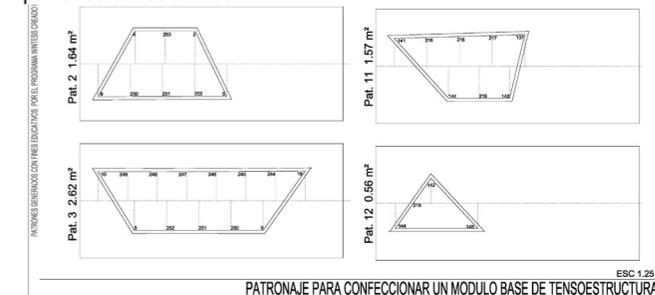


PRESENTACIÓN DE PATRONES EN PLANTA

La plantilla en PDF está configurada para imprimir en escala 1:25.

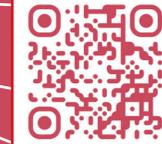


Para el armado deberán respetarse los offsets de los dobladillos y garantizar la coincidencia de los números de nudos entre los patrones consecutivos.



PATRONAJE PARA CONFECCIONAR UN MODULO BASE DE TENSOESTRUCTURA

DESCARGALO AQUI



Para la representación de mástiles y tensores se sugiere el uso de varillas de madera y tanza.



IMÁGENES DE REFERENCIA DE MAQUETAS REALIZADAS POR ALUMNOS DE LA CÁTEDRA DE ESTRUCTURAS IV – FAUD - UNC

RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS PARA LAS UNIONES

A continuación, se sugieren algunas formas de representar las diferentes uniones entre los elementos.

Elementos rígidos:
Clip gancho metálico
Clavos
Chapa aluminio
Varilla madera 1x1



ANCLAJE DE TENSOR

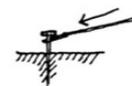
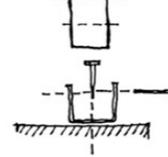
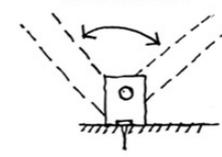


IMAGEN Y DESPIECE PARA LAS FIJACIONES O ANCLAJES DE MÁSTILES Y TENSORES

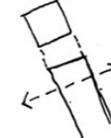
NUDO DE FUSTE



GIRO EN UNA DIRECCIÓN



COMPOSICIÓN DE CABEZAL



CLIP Y CHAPA ALUMINIO



ARTICULACIÓN "MOVIL"

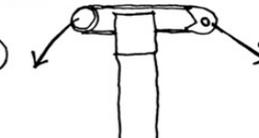


IMAGEN Y DESPIECE DEL DETALLE DE LOS CABEZALES DE MÁSTILES QUE PERMITEN EL AMARRE DE LOS TENSORES



Ser docente de Estructuras en Arquitectura: un desafío

Como arquitecta siempre he tenido la convicción de que la Tecnología es parte indisoluble del producto arquitectónico. Como docente, creo que el desafío en la enseñanza de Estructuras es justamente, transmitir al alumno la idea de que la variable estructural, antes que un obstáculo debe ser un instrumento de diseño, brindándole las herramientas esenciales y básicas que le permitan “diseñar” estructuras cuando diseña arquitectura y comprendiendo que toda decisión en el campo estructural compromete el proceso global de diseño.

Esto significa un reconocimiento de la idea imaginativa, intuitiva y científica que permita entender el comportamiento de un mecanismo estructural con sus propias características y limitaciones, pero también interactuando conjuntamente con los aspectos expresivos, funcionales, constructivos y culturales que toda obra de arquitectura conlleva.

Si aceptamos que el objetivo primario de un sistema estructural es equilibrar las fuerzas a las que va a estar sometido un edificio y resistirlas sin que se produzca el colapso, o deformaciones excesivas, la bondad de un diseño estructural se medirá, justamente, en el acierto que haya tenido el diseñador al elegir un sistema capaz de resistir las acciones exteriores, sin provocar “desequilibrio” con la idea expresiva, funcional, etc. que imaginó para su obra.

Arq. María Edel Ruata

estructuras

