

## EL PROCESO INTEGRAL EN LA MATERIALIZACION DE LAS CUBIERTAS TENSADAS

Runza, Walter D.<sup>1</sup>; Valenzuela, Pablo C.<sup>1</sup>; Gabutti, Gabriel M.<sup>1</sup>; Moya Paula V.<sup>1</sup>; Bechara Evangelina.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> WAGG Soluciones Tensadas.

[www.wagg.com.ar](http://www.wagg.com.ar)

wdrunza@wagg.com.ar

### Desarrollo

El proceso de diseño y materialización de una tenso estructura involucra varias disciplinas que deben combinarse para lograr buenos resultados.

En Mercados desarrollados como el Europeo, la interacción de equipos especialistas es una práctica normal, tanto a nivel educativo como en lo comercial, donde proyectistas, calculistas, ingenieros, manufactureros y especialistas en montaje se combinan para completar el todo.

El desarrollo de cualquier disciplina es muchas veces resultante de requerimientos de mercado; en nuestra región las tenso estructuras se pueden considerar como una tecnología relativamente reciente, y debido a ello los desarrolladores se ven obligados a tomar más de una, sino todas las áreas intervinientes para llevarlas a cabo.

Nuestra empresa lleva más de 15 años trabajando en el campo de la arquitectura Textil, y en los últimos 10 ha incorporado las Cubiertas Tensadas como uno de sus áreas de trabajo. En los inicios abordamos esta tecnología tratando de hacer un relevamiento de cuales eran los actores que podían darnos apoyo en nuestra región, pero como antes mencionamos, frente a un mercado emergente había pocas alternativas con experiencia en el tema. Así fue que iniciamos un proceso de capacitación técnica basado en los desarrollos Europeos, para poder dar respuesta profesional a las resoluciones de estas estructuras.

En la presente ponencia vamos a desarrollar las tareas que envuelven el proceso completo de materialización de una tenso estructura, para poder explicar nuestra intervención en cada etapa:

- **Análisis de Factibilidad**
  - Búsqueda de la forma
  - Esquemas estructurales
- **Análisis Técnico**
  - Cálculo estructural
  - Simulaciones
  - Definición de la forma
- **Ingeniería de detalle**
- **Producción, manufactura de la membrana y de elementos estructurales**
- **Planificación logística y Montaje**

Evidentemente cuando enunciamos estas tareas, algunas de ellas siguen preceptos técnicos de disciplinas de la construcción, que con experiencia y sentido común se pueden llevar a cabo satisfactoriamente, por lo tanto están insertas dentro de una labor profesional de productos con un cierto desarrollo tecnológico.

## ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

### Conocimiento Técnico

A pesar de iniciar el proceso de diseño como cualquier otro donde se exponen las necesidades estético funcionales, y a partir de allí el diseñador se lanza a su elaboración creativa, el condicionante técnico requiere tener como mínimo conocimientos geométricos y estructurales de lo que significan “membranas de doble curvatura”, polígonos de fuerzas, etc.

Para no extendernos en este aspecto, podemos resumir básicamente que los planteos iniciales se basan generalmente en tres formas geométricas que son, los paraboloides, arcos y los conoides, y a partir de estas tipologías elaboramos alternativas que caracterizan cada proyecto.

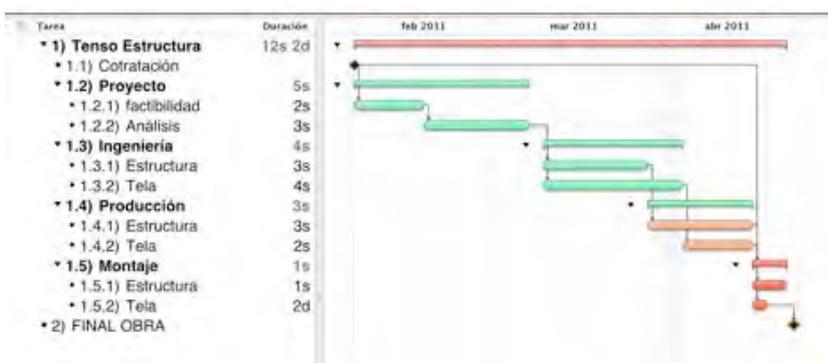
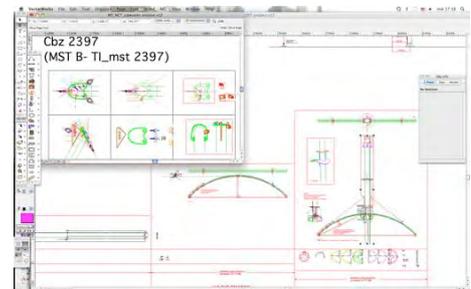
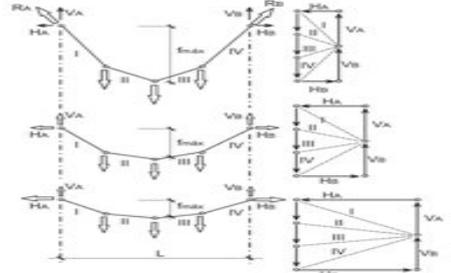
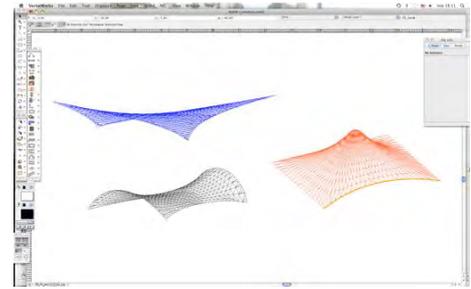
Otro aspecto importante a considerar es que el proceso de diseño se desarrolla en un marco de gran rigor conceptual y geométrica en todas sus fases.

### Filosofía proyectual

Un punto a tener en cuenta para llevar a cabo una cubierta tensada se basa en hacer previsiones técnicas y en tiempo mucho antes de la ejecución misma, como la mayoría de los productos en estas tecnologías, no pudiendo dejar librado a resoluciones “in situ” como se podría en algunas situaciones de la construcción tradicional.

Por ejemplo, el ángulo de acometida con el que un cable llega a un chapón de anclaje tiene una geometría que sale de un estudio pormenorizado 3D de las resultantes de los esfuerzos de esos componentes.

Este primer cambio radica en analizar los procesos con previsiones basadas en producción de elementos a medida. Frente a cada requerimiento debemos evaluar los desarrollos en la etapa de proyecto y los tiempos de fabricación que insumirán.

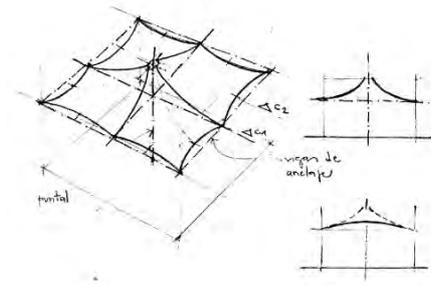


## Búsqueda de la forma

Hace 10 años, en nuestros primeros proyectos la necesidad de los modelos 3D fueron fundamentales, y ante la ausencia de software, las maquetas o modelos físicos aportaron realidad espacial en la evaluación de los croquis preliminares.

Cualquier planteo de una tenso estructura requiere:

- Validez en el planteo conceptual y estructural
- Verificación espacial y funcional
- Ajuste dimensional en su totalidad



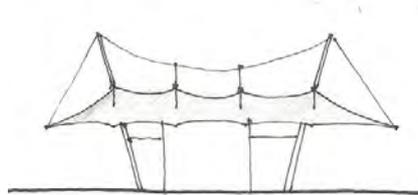
Rápidamente la incorporación de software conceptual de diseño para búsqueda de la forma o "form-finding", fue necesario. Esto nos permitió hacer un estudio 3D de los modelos iniciales para encontrar las tipologías y sus variaciones en esta etapa de estudio.



En el caso del proyecto para un bar semicubierto en la zona de Puerto Madero el requerimiento fue generar una cubierta sobre un módulo ya construido con la premisa urbano-espacial de tener un correlato formal que no compita ni interfiera con el paisaje inmediato, sobretodo en lo referente a la Fragata Sarmiento, un hito histórico vecino.

La analogía propuesta fue un par de mástiles que se erigían sobre los tendidos horizontales de la membrana, que estructuran su forma a partir de 4 arcos paralelos planteando una cubierta formalmente moderada en pos de las premisas iniciales.

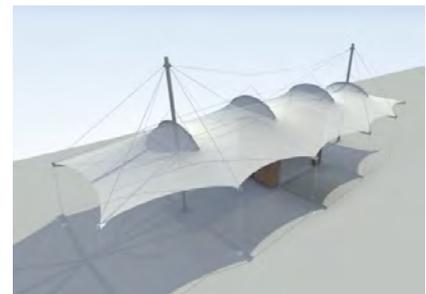
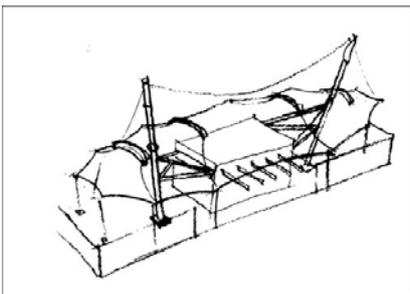
En este caso desde los bosquejos iniciales hasta la definición de los detalles, la propuesta trató de mantener ese espíritu planteado.



- La elección de la tipología de arcos fue para lograr una cubierta con un mínimo desarrollo en altura y bordes perimetrales de altura constante.
- El juego de los mástiles, además de hacer una rápida alusión a los de la fragata y su relación con los toldillos de cubierta, dieron respuesta estructural sosteniendo un cable colector de donde cuelgan los arcos.



- Para los elementos estructurales adicionales se eligieron tangones horizontales que al quedar debajo de la cubierta minimizaron la llegada al suelo de elementos estructurales que no sean los mástiles.



Finalmente la ayuda del software de form-finding nos permitió elaborar con mayor precisión los planteos iniciales, visualizarlos y presentarlos, y a partir de los ajustes de la propuesta abocarnos a desarrollarla.



## ANÁLISIS TÉCNICO

Una vez que fue planteada la forma tridimensional, entran en juego elementos técnicos más específicas permiten hacer un análisis técnico más profundo.

En cada planteo y sobre todo de la escala de media en adelante comienzan a intervenir factores técnicos que cuanto más grande es la cubierta más peso tienen en la evaluación de las propuestas.

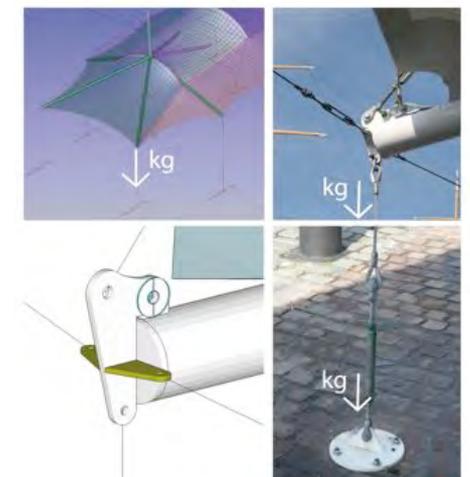
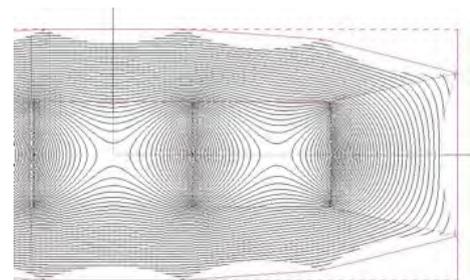
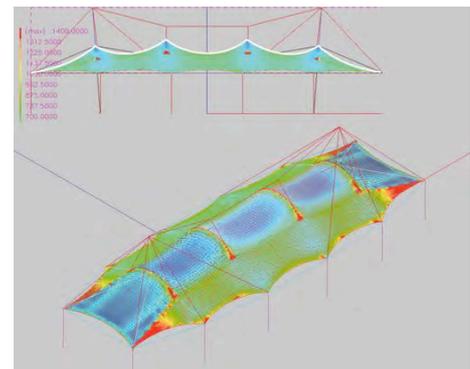
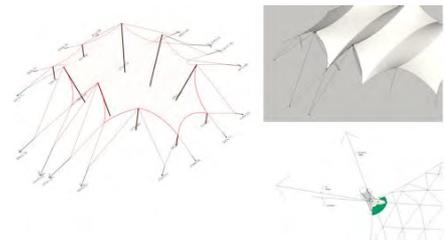
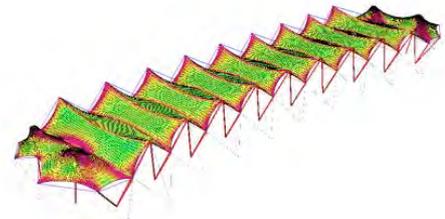
Se incorporan datos sobre:

- materiales
- temporalidad
- localización

En este proceso podemos obtener información como ser:

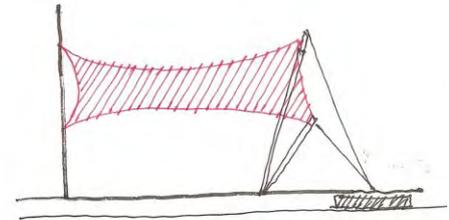
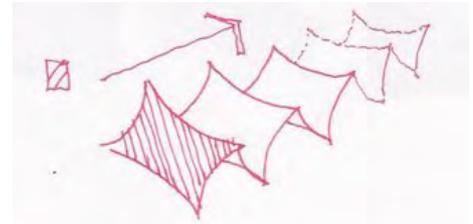
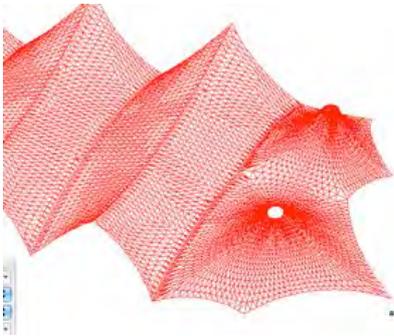
- El **cálculo de los esfuerzos** a los que estará sometida la membrana como ser presión de viento u otros factores
- **Simulaciones** de las deformaciones según cada estado.
- El ajuste de cada superficie a partir de **isocurvas** para hacer una precisión del drenaje de las aguas de lluvia.
- Las **resultantes geométricas de los esfuerzos** que sirven para dimensionar y definir cada elemento.

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

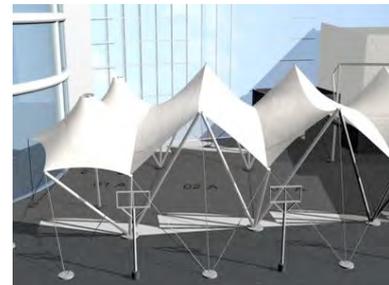
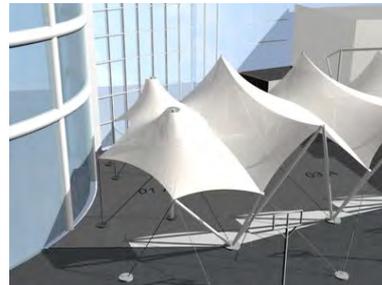
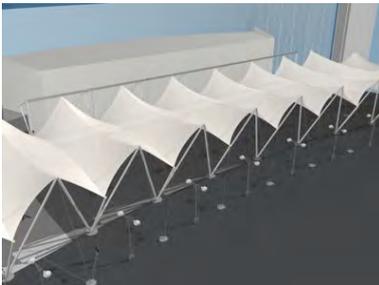


En el proyecto de la cubierta para Norcenter Shopping en la Zona Norte del gran Buenos Aires estudiamos, junto al Estudio PFZ Arquitectos, distintas tipologías y combinaciones tratando de combinar adecuación espacial con resoluciones tipológicas que conlleven esfuerzos viables para la ejecución.

La utilización de paraboloides como unidad repetitiva por sucesión de cables de valle y cresta para resolver gran parte del proyecto, generando alteraciones en los remates de cada cabecera con conoides dobles, fue la opción elegida.



Rápidamente a partir de esas primeras elecciones tipológicas el análisis de la forma, el cálculo y todas las simulaciones mencionadas pasaron a evaluarse en la propuesta para ir determinando si las decisiones tomadas en el campo proyectual eran coherentes con la propuesta espacial, los esfuerzos que la membrana arroja y la resistencia de los puntos de anclaje, entre otras cosas.



## INGENIERIA DE DETALLE

Existen consideraciones generales a tener en cuenta en el proceso de la ingeniería que conviene repasar al inicio de este proceso para dar prioridades en función de los parámetros establecidos como ser:

- Definición de la durabilidad y uso de la cubierta
- Decisiones estructurales generales
- Elección de Materiales
- Análisis geométricos de las partes
- Diseño de la parte
- Consideraciones sobre el proceso de producción
- Disponibilidad de partes

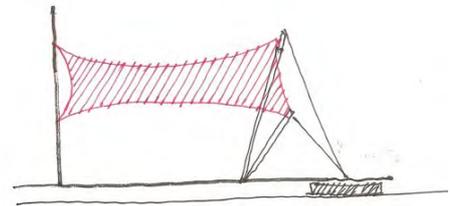
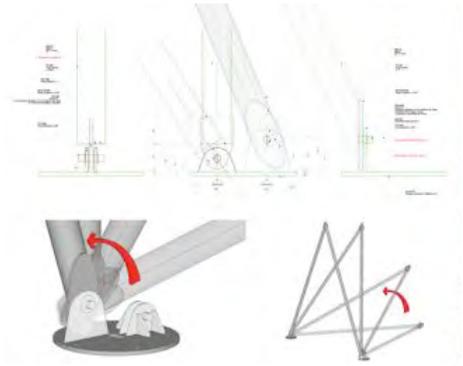
El diseño de cada pieza es el resultado de aplicar el conocimiento a un riguroso estudio tridimensional que prevé no solo los esfuerzos a lo que están sometidas, sino también a su interacción.

### Decisiones estructurales

Cuando hablamos de este tipo de decisiones, en la cubierta de Norcenter el estudio se basó en el corte de la cubierta que tenía dos bordes muy diferenciados, por un lado un edificio con puntos de anclaje.

De allí la propuesta de conjunto de mástiles combinados en forma de "A", que pivotan sobre sus bases para tensar los cables de cresta y un esquema similar para mástiles simples en los cables de valle.

Esa evolución pasó del esquema conceptual inicial, la evaluación de los pivots, el diseño y dimensionado de las bases y su documentación final.

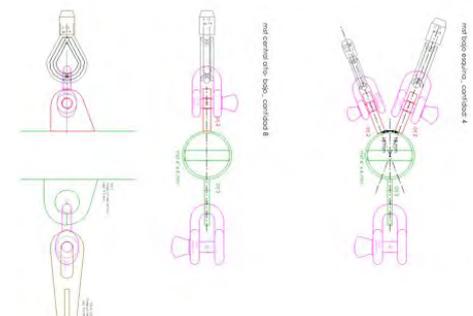
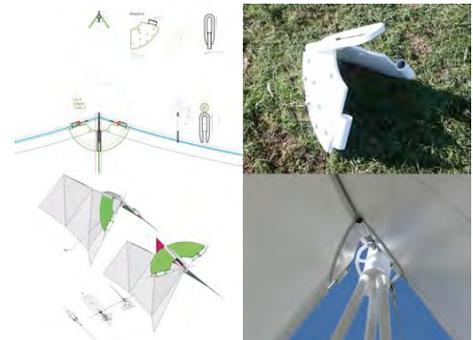


### Análisis geométricos de las partes

Como mencionamos la geometría de cada polígono de fuerzas se transfiere a bases, mástiles, cables, chapones, y a cada una de las piezas para su dimensionamiento y diseño.

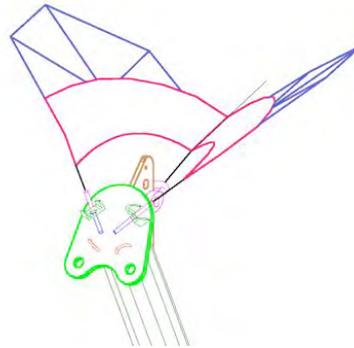
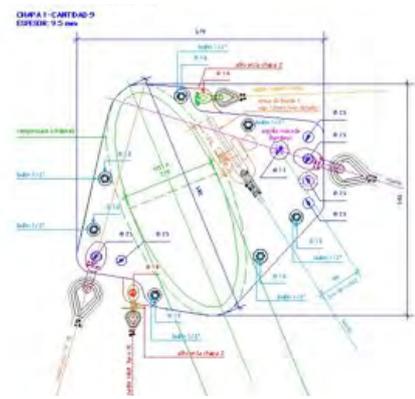
### Diseño de las partes

Por ejemplo, cuando se dimensiona el agujero de un chapón que alojará el perno de un grillete, éste se basa tanto en los esfuerzos que debe soportar como en la holgura necesaria para que el perno del grillete pase por el agujero y abrace el espesor de dicho chapón, sin olvidar sus escala.



Una vez más el desafío en cubiertas con tantos elementos intervinientes es poder clasificar y dar jerarquía a las partes, manteniendo la estética pero dando resolución a los temas técnicos, para garantizar que no se encuentren obstáculos en producción ni en montaje.

Un tema no menor en el diseño de la membrana de Norcenter, por ejemplo, fue la decisión de eliminar los chapones de los puños, debido al quiebre que los valles y crestas planteaban en su geometría. Los valles acumularían el drenaje de las aguas de lluvia con los consiguientes problemas de oxidación y obstrucción más allá del tratamiento de las piezas.



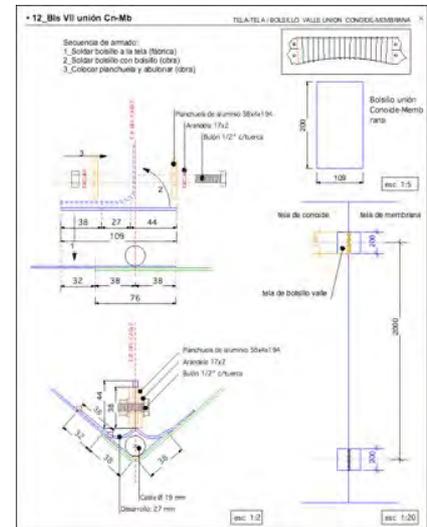
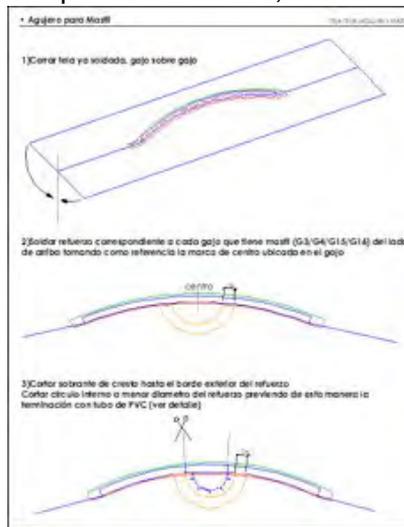
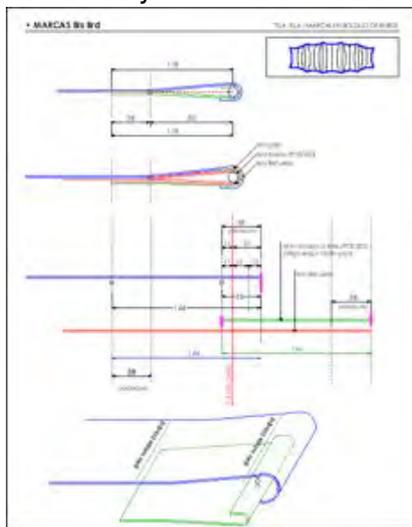
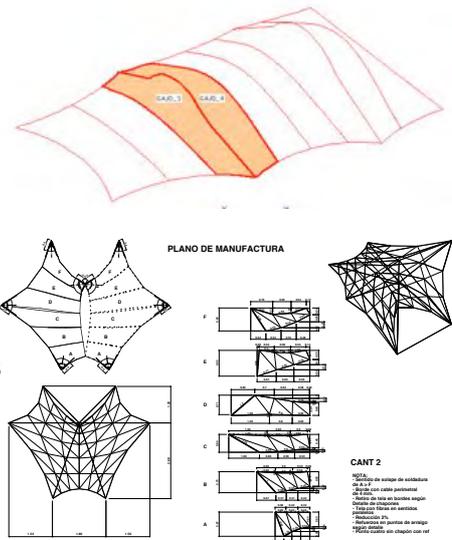
## PRODUCCION

Todo el proceso de análisis tridimensional debe finalmente volcarse a una documentación bidimensional tanto de la tela como de las piezas, ya que los sistemas de producción se basan en modelos 2D para corte y ensamble.

### Manufactura de la membrana

El proceso de corte y definición de los moldes para la producción de la membrana se llama patronaje o "Patterning"; nuevamente los software específicos se convierten en una herramienta muy útil ya que mediante un proceso de triangulación transforman los planos alabeados de las cubiertas en moldes desarrollados en el plano que permiten ser ploteados y cortados sobre la membrana propiamente dicha.

Este proceso basado en gajos que se van componiendo permite definir criterios, uniones, bolsillos perimetrales, ubicación y medidas de refuerzos en puños o vértices, etc.



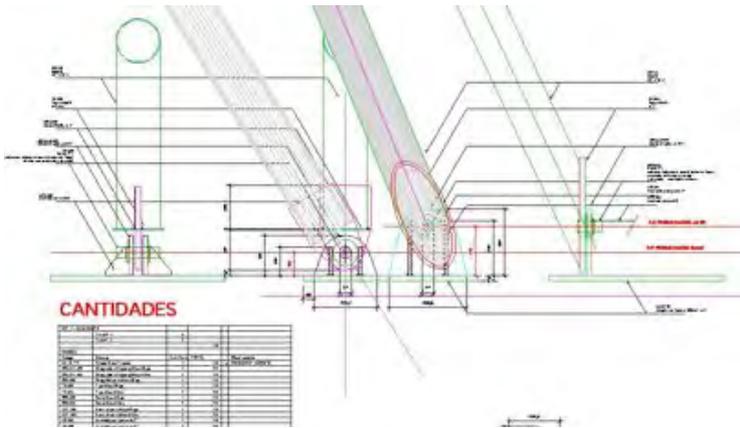
Una vez definida esta documentación de producción de la membrana ésta se plotea, se corta y se procede a unir gajo a gajo generalmente por soldaduras de alta frecuencia, para armar la totalidad del modelo 3D en verdadera magnitud.



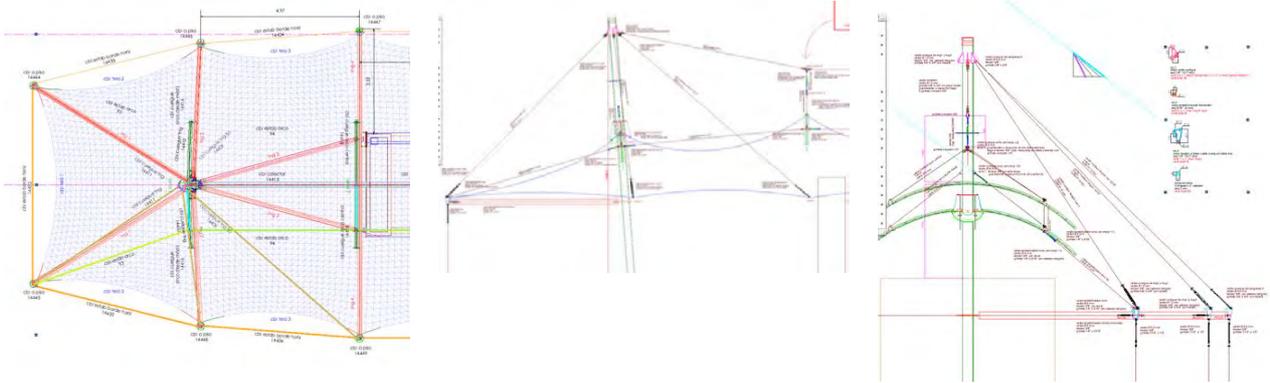
En el caso de la cubierta de Norcenter, con casi 3 toneladas de peso solamente en la membrana, se decidió producirla dividida en 6 paños, con un peso aproximado de 500kg. Cada uno; estas consideraciones son muy importantes a tener en cuenta en el proceso de diseño ya que tienen un impacto muy fuerte tanto en la producción, como en la logística y el montaje.

## Fabricación de piezas estructurales

Al igual en las membranas, la fabricación de cada pieza requiere de una rigurosa documentación acompañada con decisiones sobre los materiales, su proceso, las previsiones de logística y montaje posterior.



Así 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 antes mencionados.



## Planificación Logística y Montaje

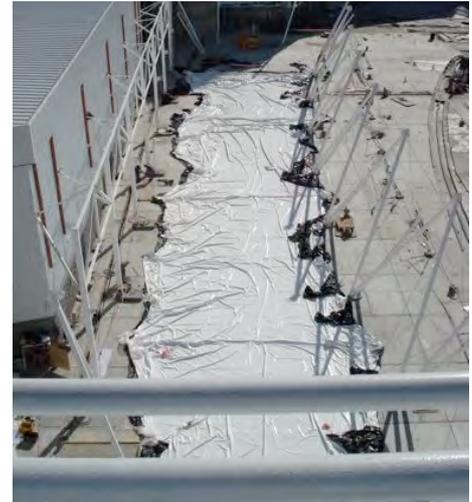
A manera de “mecano”, toda la labor de previsión de ensamble de las partes también requiere de planificaciones ya que a medida que los proyectos crecen en tamaño, el peso y la movilidad de las piezas se incrementa y dificulta.

Desde el inicio en la decisión de cómo realizar cada pieza debe estar presente la previsión del montaje, ya que los elementos que se necesitan para hacerlo, muchas veces deben estar incorporados en el diseño de alguna de las piezas.

La cubierta de Norcenter con más de 2700 m<sup>2</sup>, fue fabricada en 6 tramos unidos por vainas que vinculaban los cables de cresta, una vez realizada esta operación el izaje y anclaje de la misma se llevó a cabo durante 36 horas hasta lograr anclarla en su totalidad y darle la pretensión necesaria que resista las cargas de vientos a las que fue calculada.

Para realizarlo, tanto en los cabezales de mástiles como en los puños de la membrana se hicieron previsiones para el izado. Y por supuesto los elementos de elevación tanto de materiales como de personas fueron un elemento fundamental.

Finalmente el ajuste de las partes como los detalles de terminación dan el toque de cierre a un proceso que requiere en su totalidad mucha dedicación y cuidado para brindar a cambio tenso estructuras que enriquecen el paisaje, cualifican el espacio y otorgan calidad de detalle.



Video de Montaje!

