

# Cubierta textil en las instalaciones deportivas de la Universidad Europea del Atlántico, Santander

*Textile canopy for the sports facilities of the Universidad Europea del Atlántico, Santander*

Guillermo Capellán Miguel<sup>\*, a</sup>, Santiago Guerra Soto<sup>b</sup>,  
Miguel Sacristán Montesinos<sup>b</sup> y Julio González Zalduondo<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos. Director Técnico, Arenas & Asociados. gcapellan@arenasing.com

<sup>b</sup> Ing. Caminos, Canales y Puertos. Director de Oficina, Arenas & Asociados. sguerra@arenasing.com | msacristan@arenasing.com

<sup>c</sup> Ing. Caminos, Canales y Puertos. Especialista en estructuras, Arenas & Asociados. jgonzalez@arenasing.com

## RESUMEN

La Universidad Europea del Atlántico encargó a Arenas & Asociados realizar el diseño de la cubierta para su nueva pista multi-deporte. Para afrontar los diversos condicionantes de diseño, se optó por desarrollar una estructura textil asimétrica, al considerarse una solución idónea por su ligereza, luminosidad, y respeto ambiental. La estructura resultante se trata de una sucesión rítmica de celosías de acero, con membranas tensadas entre ellas, que cubre una superficie de 2500 m<sup>2</sup> (90 m x 27.7 m).

## ABSTRACT

Arenas & Asociados was committed by the “Universidad Europea del Atlántico” a roof design for their new multisport courtyard facility. Due to the constraints in the design, an asymmetric tensile structure was chosen as the best solution thanks to its lightness, luminosity and environmental respect. The resulting structure is a rhythmic succession of steel lattices with tensile membranes between them, covering a 2500 m<sup>2</sup> surface (90 m x 27.7 m).

**PALABRAS CLAVE:** cubierta PVC, estructura metálica, form-finding, asimétrico, instalación deportiva  
**KEYWORDS:** PVC fabric roof, steel structure, form-finding, asymmetric, sports facilities

## 1. Introducción

Cuando la Universidad Europea del Atlántico llegó a Santander, se encontraba en la necesidad de crear unas instalaciones deportivas que pudieran ser disfrutadas por sus estudiantes durante las clases y en sus ratos libres.

En esos momentos, un gran aparcamiento proyectado y asistido durante la obra por Arenas&Asociados se encontraba en sus últimas fases de ejecución, y una explanada vacía iba a aparecer justo delante del edificio principal de la Universidad. Debido a esto, nuestra firma fue consultada sobre la viabilidad del proyecto de varias instalaciones sobre el aparcamiento, que incluían el diseño de un icónico pabellón

destinado a albergar diferentes eventos deportivos. Así, comenzó un proceso de diseño que concluyó con la expresiva solución actual.



Figura 1. Vista final de la fachada norte

## 2. Buscando la solución

El encargo de proyectar un emblemático pabellón que cumpliera con las necesidades de la Universidad presentaba diversos y variados condicionantes, tales como las cargas admisibles de las cimentaciones, la integración con el entorno, el clima, el ensamblaje con la estructura del aparcamiento, las regulaciones urbanísticas locales y las dimensiones mínimas requeridas para los diversos deportes.

### 2.1 Integración con el entorno

El campus de la Universidad Europea del Atlántico se encuentra enmarcado dentro del PCTCAN (Parque Científico y Tecnológico de Cantabria), que es una zona en donde diversas empresas punteras en sectores relacionados con las nuevas tecnologías, la investigación y el diseño tienen sus principales oficinas. Por tanto, la innovación, la fusión entre la arquitectura contemporánea y la ingeniería, el uso de nuevos materiales, y el empleo de soluciones ambientalmente eficientes debían estar presentes en el diseño de la cubierta.



Figura 2. Entorno PCTCAN

### 2.2 Clima

El clima de Santander es un clima lluvioso, especialmente durante el invierno, en el que la lluvia viene acompañada de vientos procedentes del norte y del oeste. Por tanto, dichas fachadas son las que deben presentar una mayor protección contra los elementos

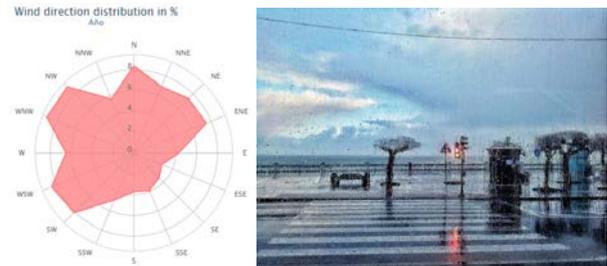


Figura 3. Dirección del viento y clima lluvioso

Los vientos procedentes del sur y del este se encuentran más asociados al buen tiempo, por lo que dichas fachadas podrán disponer de un grado mayor de apertura hacia el exterior.

### 2.3 Limitaciones normativas

La cubierta ha cumplido con todos los requerimientos normativos singulares del lugar, tales como la limitación de altura máxima de +9.00 metros en cualquiera de los edificios a realizar en el emplazamiento, y los gálibos mínimos de juego de fútbol sala, que forman un rectángulo en la sección tipo en el que no debe haber ningún elemento estructural.

Estas limitaciones tuvieron un marcado impacto en el diseño final de la cubierta textil, debido su tipología, ya que las membranas tensadas requieren de doble curvatura para trabajar adecuadamente.

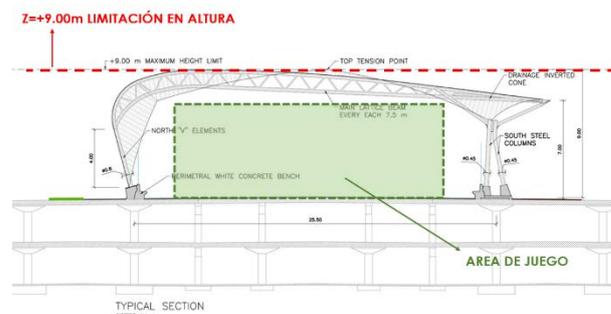


Figura 4. Principales restricciones normativas

## 2.4 Cargas admisibles en cimentaciones

Tal como puede apreciarse en la sección tipo inferior, las zapatas de la zona central son significativamente más pequeñas que las del resto de la estructura del aparcamiento. Esto hace desaconsejable la realización de apoyos en dichas alineaciones de pilares, ya que su capacidad tensional se encuentra ya muy limitada.

Sin embargo, las zapatas inmediatamente adyacentes cumplen holgadamente con los requerimientos de carga del aparcamiento, y

pueden recibir cargas procedentes de esta nueva estructura.

## 2.5 Condicionantes urbanísticos

El pabellón ha contado a su vez con ciertas limitaciones de tipo urbanístico, al encontrarse categorizado dentro de “espacio cubierto no cerrado”, impidiendo cualquier posible planteamiento que implicase un espacio completamente cerrado.

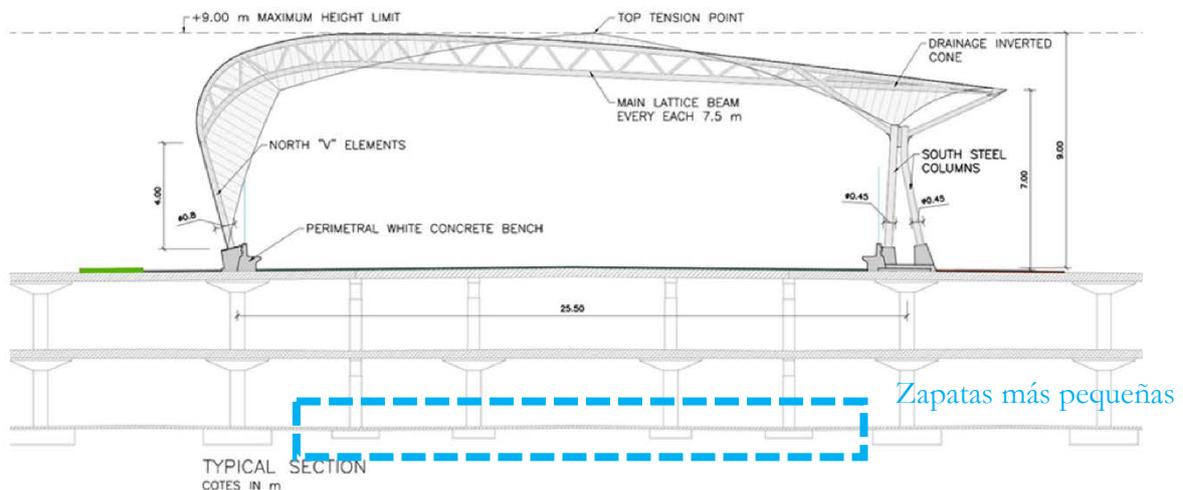


Figura 5. Sección transversal de cubierta sobre aparcamiento (sup.), y en fases previas (inf.)

## 2.6 Conexión con estructura existente

Con el fin de no tener que dañar la capa de impermeabilización durante la posterior instalación de la estructura de la cubierta, ya en las fases finales de ejecución de la obra del aparcamiento, quedaron dispuestas unas esperas de barras de acero B500S sobre unos plintos, para conectar posteriormente con las basas de hormigón planteadas para la estructura de la cubierta.

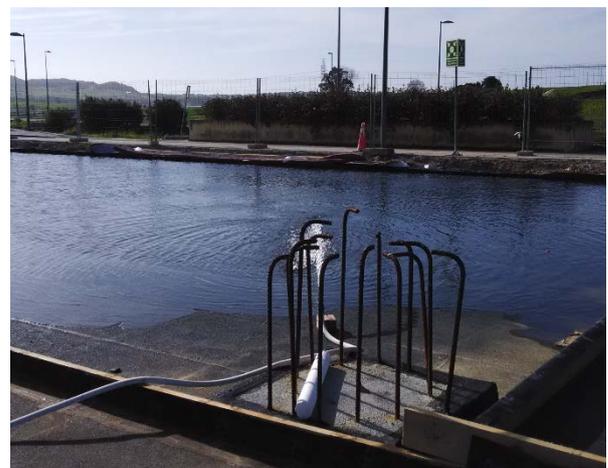


Figura 6. Esperas del aparcamiento

## 2.7 Solución elegida

La solución elegida para la cubierta se trata de una estructura modular, con una tipología estructural híbrida, formada por elementos metálicos y membranas tensadas.

En el sentido longitudinal, la cubierta está compuesta por un sistema de pórticos metálicos cada 7.50 metros, y conectados entre sí por medio de elementos textiles tensados. Transversalmente, sin embargo, la estructura está concebida asimétricamente, cerrada al norte, y abierta hacia el sur, como reflejo de las condiciones climáticas del lugar.

En la fachada norte, la membrana desciende a través de la estructura hasta alcanzar el suelo, creando una envoltura protectora que guarda a los estudiantes del mal tiempo y la lluvia. La viga principal en celosía que cubre la luz transversal del espacio se divide en esta fachada en dos partes, y se apoya sobre los plintos de hormigón que dan continuidad al sistema de columnas del aparcamiento. Los

huecos que esta triangulación crea en la fachada norte, dan lugar a puertas a través de las cuales se introduce la luz natural. En esta zona de “viga Warren”, se dispone un cristal transparente para mantener la protección contra las inclemencias.

En la fachada sur, se ha llevado a cabo un planteamiento diametralmente opuesto en su diseño. En esta zona, el pabellón se encuentra completamente abierto al calor del sol y a la luz que viene del sur. Desde las cimentaciones, se alzan unas columnas metálicas que reciben a la viga celosía principal mediante un sistema de tetrápodos que también albergan conos invertidos de la membrana textil a través de los que se produce el drenaje de la cubierta.

En conclusión, la distribución en planta de la estructura presenta 12 vigas principales ubicadas en los puntos medios ente los 13 apoyos de cada lado.

La viga está formada por dos tubos  $\varnothing 244.5$  mm y  $t=8$  mm separados 1.20 m máximo, con diagonales de  $\varnothing 76.1$  y  $t=5$  mm.



Figura 7. Vista desde el interior del pabellón

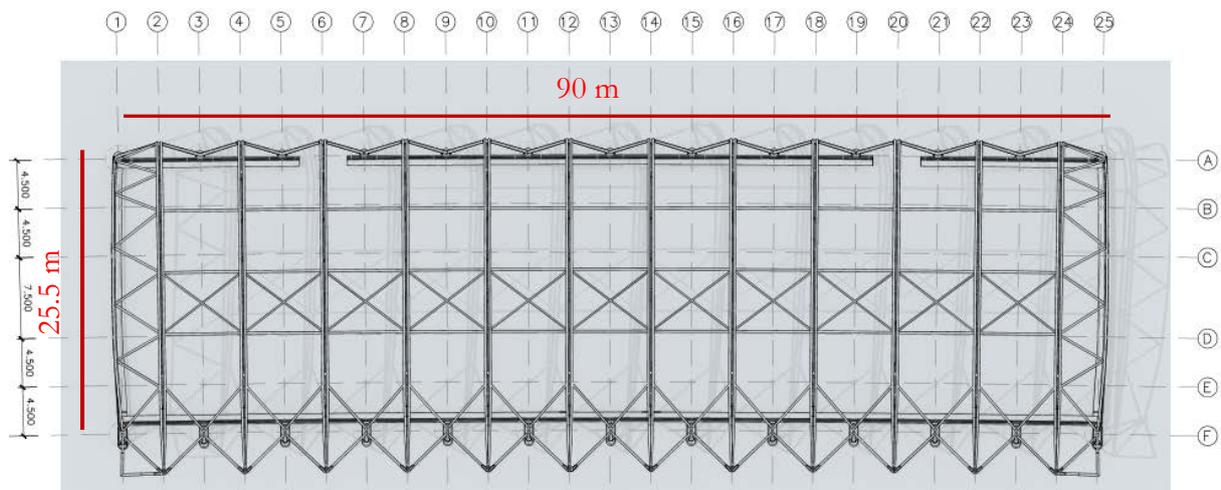


Figura 8. Planta de la solución

### 3. Elementos estructurales

Debido a la naturaleza híbrida de la estructura, que combina el empleo de diferentes materiales, se procede a describir sus diferentes partes en los sucesivos apartados.

#### 3.1 Bases

Las bases de hormigón conectan las esperas dejadas durante la ejecución del aparcamiento con las bases de anclaje de la estructura superior. La conexión entre estos elementos fue materializada mediante un sistema de perfiles metálicos embebidos en el hormigón para simplificar las armaduras a disponer por los obreros.

Todas las bases tienen forma cónica, pero son diferentes en ambas fachadas. En la fachada norte, la base se trata de un elemento único que recibe las “V” de la estructura metálica, y el cable de valle de la membrana. También se conectan con los bancos perimetrales, que actúan como peso muerto para compensar las fuerzas de despegue que llegan de las hipótesis de viento en succión de la cubierta.



Figura 9. Bases de fachada norte

Las bases de anclaje de la fachada sur, por el contrario, están formadas por dos elementos cónicos de hormigón, que son prolongación de los pilares metálicos de la fachada sur, y se encuentran en su zona inferior con el capitel de la columna del aparcamiento.

En esta fachada sur, las bases de anclaje dan continuidad al sistema de drenaje de la cubierta, estando completamente integrado en el diseño de la misma.



Figura 10. Bases de fachada sur

#### 3.2 Estructura metálica

La forma transversal de la cubierta cumple con los requerimientos para un comportamiento estructural adecuado, pero también asegura un eficiente sistema de drenaje. El agua discurre desde el punto más alto de la estructura hacia ambos lados. En la fachada norte, el agua desciende por la membrana hasta el suelo, donde es recogida y conducida hacia la red general de drenaje. En el lado sur, el agua es recogida a través del cono inverso de la membrana, y es conducida a través de las columnas tubulares hasta las bases de hormigón.

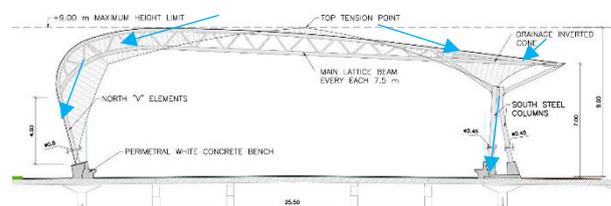


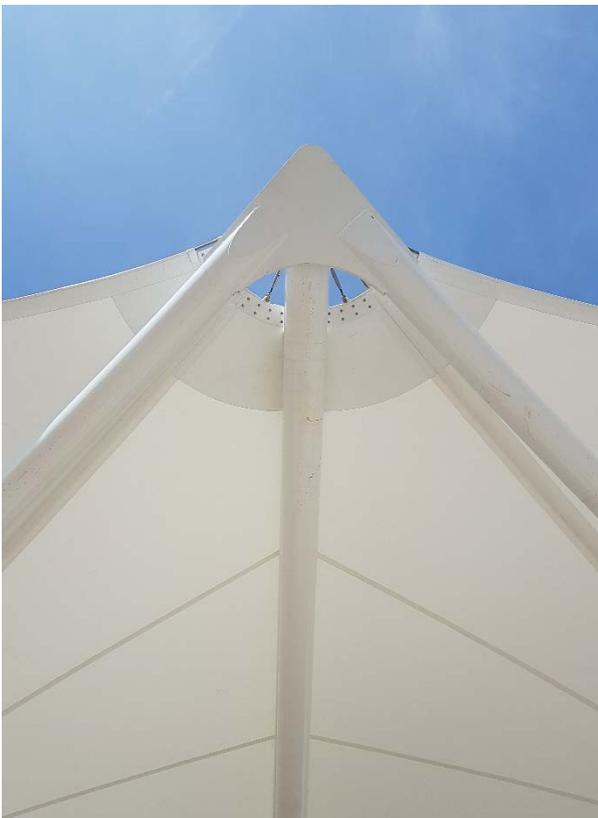
Figura 11. Drenaje sección tipo

El diseño de los pilares sur metálicos, que está conformado por dos elementos, reduce los esfuerzos flectores y los transforma en un par de fuerzas. La columna interior trabaja mayormente a compresión, y la exterior trabaja a tracción.



**Figura 12. Pilares metálicos de fachada sur**

Cada uno de los cuatro brazos del tetrápodo, que es un perfil tubular de  $\varnothing 219$  mm y  $t=8$  mm, sale desde la zona superior de los pilares y se entrelaza con los brazos del tetrápodo contiguo. Estos tetrápodos, no sólo dan soporte a las vigas principales de la sección tipo, sino que también, trabajando conjuntamente con el resto de tetrápodos, dan lugar a una viga longitudinal en el perímetro sur que aporta resistencia al conjunto frente a los esfuerzos longitudinales derivados de la acción climática o de la propia pretensión de la membrana.



**Figura 13. Punta de fachada sur**

En la fachada norte, la viga principal rebasa la línea de apoyos y se pliega con una suave curvatura para apoyarse finalmente en los fustes de hormigón. Esa curvatura ha sido objeto de sucesivas iteraciones para adaptarse a las fuerzas de desviación procedentes de la membrana textil, pero siempre manteniendo radios circulares constantes, facilitando el plegado de los tubos metálicos que componen el elemento.

Esta curvatura y los elementos “V” de acero son los elementos más destacados de la fachada norte, que se encuentra orientada hacia el principal edificio de la Universidad.



**Figura 14. Curvatura norte de viga principal**

La secuencia de construcción que fue seguida para la instalación de los elementos metálicos consistió en fijar primero los elementos “V” de la fachada norte, y las columnas de acero de la fachada sur a sus correspondientes bases de anclaje. Posteriormente se instalaron las vigas principales en celosía. Todas las uniones entre elementos se realizaron mediante soldadura “in situ”, que posteriormente fue ensayada.



**Figura 15. Estructura metálica durante ejecución**

### 3.3 Membrana tensada

La membrana tensada es el elemento más característico en el conjunto de la cubierta, y cuyo empleo ha sido clave para poder materializar el pabellón. Su excelente relación peso-resistencia ha propiciado la elección de este material en la obra, al ayudar a superar los condicionantes de tensiones en las zapatas ya existentes del aparcamiento.

El material elegido ha sido el Ferrari Flexlight TX30-III, que mejora las capas de protección de PVC habituales de la malla de poliéster. Este material de 1050 gr/m<sup>2</sup> de peso, consigue una resistencia a tracción, tanto en la urdimbre, como en la trama, de 560 daN/5cm. La tensión objetivo de la membrana era 4.5 kN/m en las direcciones de trama y urdimbre.

La clase de reacción al fuego de este elemento, C-s2, d0, clase M2, lo ha hecho idóneo para su uso en estas instalaciones, al cumplir con los requerimientos del CTE.



Figura 16. Punta de fachada sur

La membrana que cubre las pistas está formada por módulos contiguos, que posteriormente son unidos entre sí por tapes del mismo material (TX30-III) soldados “in situ”, manteniendo estanca la junta entre módulos.

Cada uno de los módulos puede dividirse en 2 partes, una de tipología de cresta y valle, y otra de conoide invertido. La primera ocupa la mayoría de la sección transversal, desde la fachada norte, y la última ocupa tan sólo la parte final de la fachada sur.

En la zona norte, la cresta de la membrana se encuentra sobre las vigas principales, y el valle es materializado por medio de un cable Ø22mm tesado a 100 kN. Este grado de pretensión, necesario para obtener las rigideces adecuadas del conjunto, derivaba en intrusiones dentro del terreno de juego de la membrana durante las primeras fases de diseño. Es por esto, que el diseño incluyó unos cables desviadores de Ø12 mm, y que permiten realizar el tesado del cable de valle, manteniendo la rigidez del conjunto, y respetando los gálibos del terreno de juego.



Figura 17. Efecto de cables desviadores

La pretensión del cable de valle tiene un claro efecto beneficioso en la rigidez del conjunto de la membrana, pero debido a las restricciones de gálibo del terreno de juego, y de cota de la estructura, la zona central de los 25 metros de ancho de la sección tipo se trata de una zona de menor rigidez, al haber menor diferencia de cota entre las crestas y el valle de la estructura.

Con el fin de mantener la rigidez del conjunto y evitar efectos dinámicos en la membrana debidos a ráfagas de viento, se dispone en la zona central un punto alto, que eleva el gálibo de la membrana, y mantiene firme el elemento textil.

Este punto superior de tensión se plantea como un elemento activo, regulable y accesible, que puede ser retesado en sucesivas ocasiones, introduciendo una fuerza desviadora vertical que incrementa la curvatura del sistema, y mejora los requerimientos de gálibo requeridos por los diversos deportes que se practican.



Figura 18. Vista de fachada norte. Se aprecian los cables de valle, los desviadores, y los puntos altos de tensión.

En la fachada sur, la membrana se remata mediante unos conos invertidos implementados dentro de los tetrápodos metálicos, que recogen el agua de lluvia, y la transportan hasta los embudos de cogida situados sobre los pilares.



Figura 19. Conoides sur

El patronaje de esta zona tiene una orientación diferente al de la zona de cresta y valle, en donde las líneas de corte eran paralelas entre sí, y ortogonales al cable de valle. En esta zona, sin embargo, la trama y la urdimbre siguen las líneas principales de curvatura de la tela.

La zona más extrema del conoide, que queda libre hacia el sur, está rematada mediante un cable  $\varnothing 14$  mm, cuyas orejetas de anclaje se encuentran situadas en las puntas en donde se intersecan los brazos de los pilares sur, y las vigas principales.



Figura 20. Drenaje en conoides sur

En la zona inferior de los conos, la tela requirió ciertos refuerzos, y culmina en un *kedder* (elemento cilíndrico de cierta rigidez embolsillado en el contorno de la tela que permite su mejor agarre) que se conecta con el embudo de recogida de aguas pluviales.

Por tanto, puede apreciarse cómo todos los elementos textiles tensados de la cubierta encuentran sus puntos fijos de anclaje y tensión en la estructura metálica, que al servir como armazón para sus formas, se ve sometida a importantes esfuerzos derivados de la pretensión de la membrana.

Tanto la fachada norte, con su curvatura, y la fachada sur, con el sistema de pilares y tetrápodos, son capaces de resistir por sí mismos estas fuerzas de pretensión.

Sin embargo, la capacidad de resistencia lateral de las vigas principales es bastante limitada, y ha requerido de ayuda para poder resistir el tesado longitudinal de los módulos de la tela.

En las zonas finales pueden apreciarse sendos sistemas de vigas Warren, que reciben el tesado de la membrana, y lo transmiten a la estructura primaria.

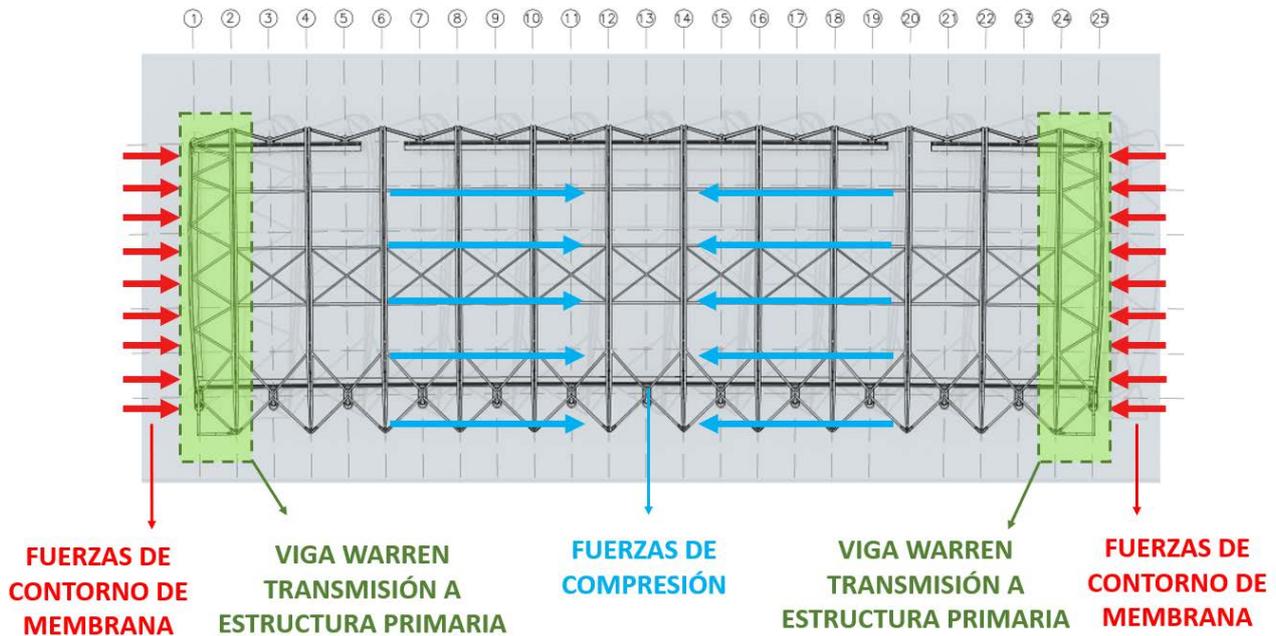


Figura 21. Estrategia resistente de fuerzas de pretensión de membrana en laterales

#### 4. Cálculo

Para abordar el cálculo de esta cubierta híbrida, se han realizado diversos modelos de cálculo para analizar las particularidades de cada una de las partes que componen el sistema.

Por un lado, se ha realizado un modelo de cálculo general con los elementos de membrana unidos a la estructura metálica, y con el sistema de cimentación también incluido. Este modelo ha permitido establecer un claro entendimiento del comportamiento global del sistema.

Este modelo general ha sido complementado mediante modelos de detalle de las diferentes partes del conjunto y se han elaborado modelos de elementos finitos de zonas singulares de la estructura metálica, modelos específicos de los módulos textiles para ajustar así en el diseño las fuerzas de pretensión y las geometrías esperadas mediante procesos de *form-finding*, y modelos particulares de los forjados, para revisar el estado de las cimentaciones.

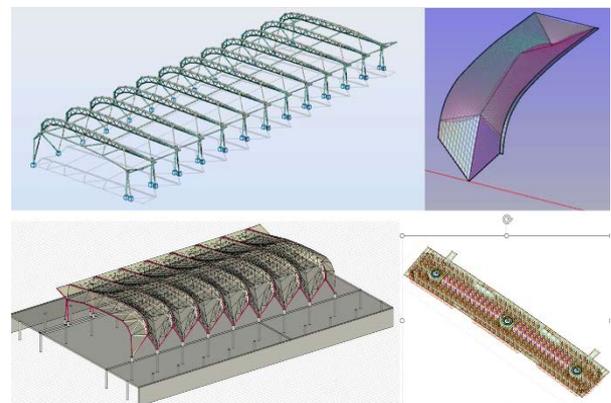


Figura 22. Modelos de cálculo

Estos modelos permitieron verificar el comportamiento adecuado del conjunto en su situación final y durante las fases constructivas, en las que se realizaron fases intermedias de tesado de la membrana sin haber concluido por completo el montaje de la metálica.

La secuencia de montaje consistió por tanto en fijar primero todo el contorno de cada uno de los paños de la membrana (cortados con sus mermas correspondientes para que en la posición final el paño se encontrara a la

pretensión adecuada) para a continuación ir tesando progresivamente el módulo a través del cable de valle principal, limitando la pretensión al 50% hasta que toda la estructura metálica estuviera completamente ensamblada.

El tesado final se hizo progresivamente para compensar las pérdidas de tensión derivadas del tesado de módulos contiguos.

## 5. Conclusión

El diseño de la estructura ha sido determinado no sólo por los condicionantes presentes en el entorno, sino también por los límites de peso exigidos por las cimentaciones existentes en el aparcamiento inferior, la necesidad de

protección y cobijo ante los agentes meteorológicos externos y los gálibos requeridos por los diferentes deportes y normativas.

El resultado final es una cubierta ligera que emplea los últimos materiales textiles y se integra perfectamente con el Parque Tecnológico y la Universidad que lo rodea.

### *Agradecimientos*

Esta obra no podría haber sido realizada sin la colaboración del principal contratista (Fernández Rosillo), los subcontratistas de la estructura metálica y textil (ANRO e IASO respectivamente) y por supuesto, la propiedad, la Universidad Europea del Atlántico.



Figura 23. Vista de fachada norte



Figura 24. Vista de fachada sur