

## **Construcción Experimental de una Cubierta Retráctil Ligera.**

### **Experimental Construction of a Light Retractable Cover.**

Dr. Carlos César Morales Guzmán\*,

\*Facultad de Arquitectura, Región Poza Rica, Universidad Veracruzana  
Carretera Poza Rica – Papantla s/n, Col. Halliburton  
dr.arqmorales@gmail.com

#### **Resumen**

El desarrollo de esta estructura se llevó a cabo por la investigación experimental de una geometría orgánica en la arquitectura, por consecuencia se tomó como referencia la geometría fractal, ya que esta ayudaba a forma un sistema flexible y adaptable, en la naturaleza existen estructuras versátiles que se adaptan a contextos muy variables, observando dicho concepto se materializa con la aplicación de un estructura ligera y retráctil, con ello también observamos que la generación de dicho sistema puede construirse de manera muy rápida si le incluíamos la capacidad de plegarse, por esa razón para sustentar este prototipo se tuvo como referentes directos el teatro ambulante del Arq. Emilio Pérez Piñero, el cual se basa también en el principio de una estructura plegable, pero el prototipo propuesto mejora la eficiencia de uniones, ya que en nuestra estructura se mejora la fijación con los miembros de contra venteo, generando un nodo más articulado y unificado que ayuda absorber la presiones y succiones del viento en ambas caras de la estructura, dándole mayor estabilidad y equilibrio al sistema estructural, la utilidad de esta estructura puede tener muchas funciones arquitectónicas, como exposiciones, cubierta de auditorio y eventos de distintas índoles en donde se requiera un espacio de gran claro, el claro efectivo de dicha estructura transversalmente es de 25 m por 27 m de longitud, tiene un peralte efectivo de 2 m, el cual trabaja como una armadura de alma abierta circular, se realizó dicho prototipo experimentalmente con Acero A36 denominación Europea S235, sus nodos se elaboraron siguiendo el diseño de conexiones biarticulados para que tuviera la mayor flexibilidad posible, con el mismo material son los miembro, el manto que se aloja en la parte inferior de la cubierta "Velaría" se propuso con una membrana Serge Ferrari-Fluitop-T2-1002, con una resistencia de RK(daN/5cm) 420/420, módulo de elasticidad (t/m) 50/50, de color rojo, lo más sobresaliente en el diseño de este prototipo fueron los detalles constructivos ya que siendo una estructura de segundo orden, el cual entra en plasticidad por lo delgado que es el espesor de su material, se compensa con el pretensado que tiene en sus uniones, ya que esto equilibran la tracción y compresión que se genera en dicho manto, este efecto ayudado por el diseño de los accesorios articulados en dichos detalles, por ultimo cabe mencionarse que el modelo solo está parcialmente terminado, ya que la segunda parte de este modelo en conjunto está conformado por dos grandes geodésica rebajadas retractiles que le dan la figura orgánica final del proyecto.

#### **Abstract**

The development of this structure was carried out by the experimental investigation of an organic geometry in architecture , consequently was taken as reference fractal geometry , as this helped to form a flexible and adaptable in nature are versatile structures that adapt to highly variable contexts , noting that concept is realized with the application of a light and retractable structure , thereby also note that the generation of this system can be built very quickly if we included the ability to fold , for that reason support this prototype was to direct the traveling theater concerning the architect Emilio Pérez Piñero , which is also based on the principle of a folding structure , but the proposed prototype improves the efficiency of joints , as in our structure is improved fixation with members to vent , creating a more structured and unified node which helps absorb the pressure and succions wind on both sides of the structure , giving greater stability and balance to the structural system , the

usefulness of this structure may have many architectural features, exhibitions , indoor auditorium and events of various kinds in which a large clear space is required, a clear cash transversely of said structure is 25 m by 27 m in length, has an effective cant 2m , which works as soul armor open circular the prototype was performed experimentally Steel A36 S235 European name , its nodes were developed following the design of bi-articulated connections to have the maximum flexibility , with the same material are the member , who stays mantle in the bottom of the cover " Velaria " was proposed with a membrane - Fluitop Serge Ferrari -T2- 1002 , with a resistance RK ( daN/5cm ) 420/420 , modulus of elasticity ( t / m ) 50/50 , red, the most outstanding design of this prototype was the construction details as being a second order structure , which enters plasticity is so thin that the thickness of the material is offset by having in prestressing their unions , as this balanced tension and compression generated in this mantle , this effect helped by the design of the articulated accessories such details , it should finally be mentioned that the model is only partially completed , as the second part of together this model consists of two large recessed retractable geodesic that give the final figure of the organic project.

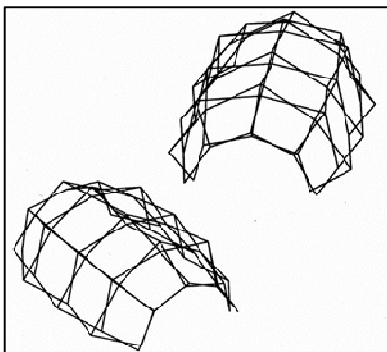
**Palabras Claves:** Sistemas Transformables, Diseño de Cubiertas y Detalles Constructivos.

**Keywords:** Transformables Systems, Design Roofing and Construction Details.

## 1. Introduccion

El desarrollo de nuevas tecnologías para la arquitectura siempre ha sido una prioridad para el diseño de los espacios arquitectónicas, pero en el área de desarrollo de sistema transformables hay muchas más investigación que desarrollar y generar, estos sistemas responderían de manera más efectiva a los constantes cambios en la arquitectura, ya que en la actualidad el tema de la arquitectura que caduca es más constante, no solamente en función espacial, sino también estéticamente, esto nos obliga a transformar constantemente nuestro entorno y por lo regular siempre se destruye el entorno en el progreso de esta transformación es aquí donde la tecnología se tiene que desarrollar para un progreso no tan agresivo, el cual ayude a mejorar este crecimiento con una calidad de adaptación y para poder desarrollar esto se tiene que tomar en cuenta los parámetros de las experimentaciones anteriores, (figura 1, 2) es muy importante resaltar que tales aspecto para que se diseñó un buen sistema plegable tiene que ser, flexible, modular (prefabricado) y de fácil transformación teniendo estas tres virtudes por consecuencia se podrá tener una buena adecuación geométrica.

Por esta razón esta etapa de la investigación se dedicara a analizar las adecuaciones geométricas, como un sistema estructural, se le asignaran miembros y dimensiones bajos principio reglamentados y tipologías teóricas de las estructuras que nos ayuden a comprender o a simplificar el método de análisis de dicho cubierta, lo cual nos deja un parámetro que contemplar para desarrollar un prototipo adecuado a escala real, para estudiar y analizar su comportamiento estructural, y así poder detectar si la geometría propuesta es adecuada para el desarrollo constructivos, en consecuencia se asignaran los detalles correspondientes de estructura, cabe mencionarse que solo se hará hasta una etapa experimental, ya que la resolución de esta investigación está sometida a comprobar la búsqueda de diseñar y construir un cubierta ligera retráctil tensada.



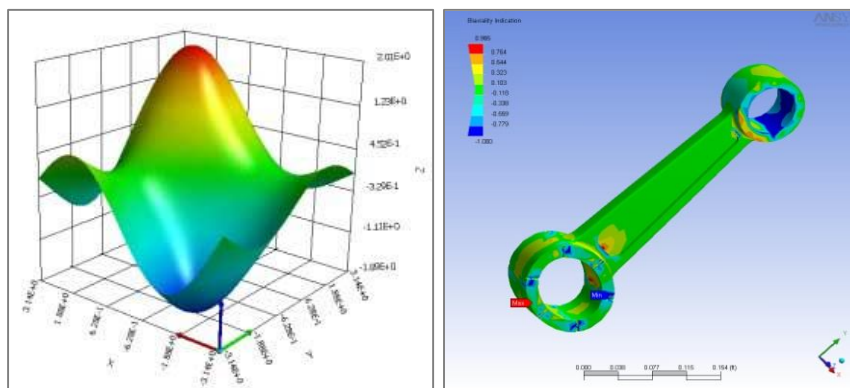
**Figura.- 1, 2:** Proyecto cubierta desplegable de aspas para cubrir una piscina unifamiliar 11 x 7 m. Sevilla, Dr. Félix Escrig, la aplicación de estructura transformables cambia drásticamente el paisaje urbano, ayudando a dar más de una función el espacio arquitectónico. Fuente: Performace. SL, 2013).

## 2. Premisas y Cotas

Para aterrizar los parámetros de una propuesta estructural con una geometría transformable, se definirán las premisas y cotas de la metodología a seguir, las cuales analizan las partes que se aplicarán en el modelo, que son: la simulación estática estructural, la adecuación de la geometría estructural y La Aplicación Tecnológica constructiva; estas dejarán una pauta marcada en la proyección de un modelo aproximado a producir un sistema estructural plegable, para no desviarse de la aplicación de los conceptos principales en la propuesta.

La simulación estática estructural, está sujeto a la adaptación del entorno del modelo, estos definirán el comportamiento de la cubierta, estas se analizar a escalar el cual ayuda a ver la interacción de esfuerzos en el modelo. Lo anterior servirá para pre dimensionar los miembros estructurales en una primera etapa de esta simulación para empezar así a realizar el modelo a escala del prototipo (figura 7, 8). Con el fin de adecuar los modelos a una producción real, se realiza el primer acercamiento: el cual consiste en someter al modelo a cargas gravitatorias, accidentales, sismo y de vientos. La jerarquía de seguridad de la simulación se genera por medio de un software (Cypecad<sup>1</sup>), en la primera etapa que facilita el diseño de los miembros estructurales. Posteriormente, con estos datos se diseñarán los detalles de unión de los modelos, tomando en cuenta los parámetros que arrojen sus gráficas de momentos, cortantes y respectivos esfuerzos interiores.

En consecuencia cada uno de las etapas experimentales construye la metodología del desarrollo del prototipo final, y con ellos tendremos como verificar la tipología estructural en la que se desarrollara la geometría, esto posteriormente cuando se aplique al proyecto final se le aplicara toda la reglamentación adecuada, en consecuencia nos darán datos importantes de tipología estructural de las adecuaciones geométricas para tomarlas como parámetros.

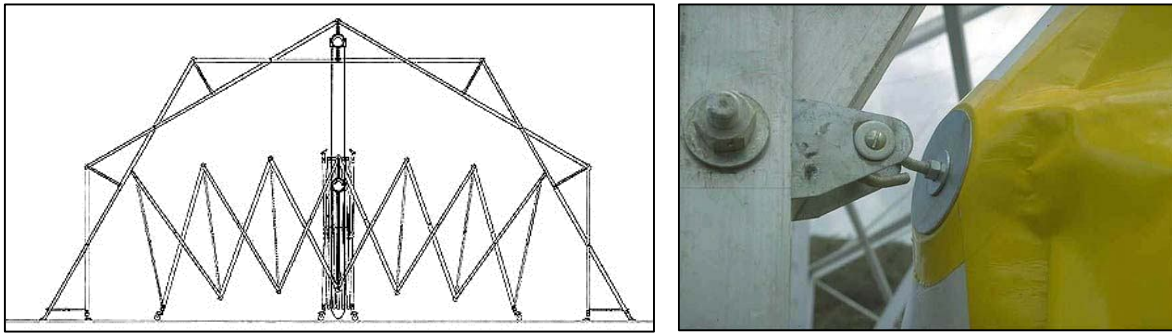


**Figura 3, 4.** La simulación comprobó la interacción de cargas en el sistema estructural de los modelos, para formar parámetros de seguridad dentro de la estructura. Fuente: Morales 2012.

La adecuación de la geometría estructural, se podrá medir gracias a las generación de experimentos y prototipos que generan esquemas constructivos y nos guiarán a desarrollar la factibilidad de la construcción de un sistema transformables, esta etapa de creación es muy importante porque define las ventajas y desventajas que podrían tener el sistema en un entorno real y las complicaciones que pudiera tener dicha propuesta, también nos sirve para analizar la dicha manufactura especial que tendrían las conexiones de un sistema plegable, (figura 5, 6) con ello podemos tratar de resolver los inconveniente de construcción, ya que la adecuación y traslación de la simulación debe tener el mismo tipo de geometría que su análisis, ya que este factor será decisivo a la hora de hacer el montaje, porque con una desigualdad de conexión con el miembro, entraríamos en efectos de pandeo y excentricidad, el cual afectaría la interacción de los esfuerzo repartidos en el sistema.

Posteriormente si lo amerita así el proyecto se tendría que rectificar o re valorar el diseño de las conexiones si ese fuese el caso, ya que es importante mencionar que tomo el sistema se mantendrá equilibrado por los nodos, si las dichas conexiones llegasen a fallar, todo el sistema no serviría de nada y no mantendría el equilibrio de seguridad reglamentada, de igual manera si no llegara a conectar, la articulación requerida en sus uniones no tendría más función en la geometría y no estuviera funcionando, como una conexión articulada, por esto es importante la elaboración del prototipo para que la adecuación sea lo más factible y real posible.

<sup>1</sup>Software de Análisis Estructural de Primer y Segundo Orden, <http://2013.novedades.cype.es/>

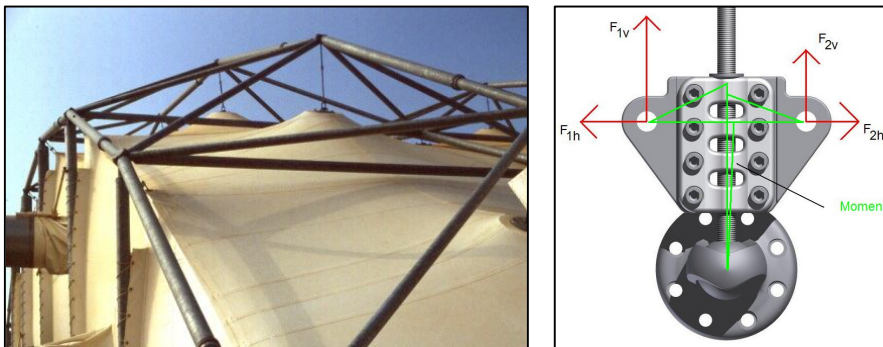


**Figura 5, 6:** La tecnología se basará en desarrollar un sistema versátil de montar y de transportar, en donde sus espacios sean adaptables en varias funciones, la adecuación de la geometría es parte vital para la construcción de sistemas transformables. Fuente: asiaviaje.com, (2010), blog-citio.blogspot.mx, (2010).

En cuanto a la aplicación Tecnológica constructiva, (figura 7, 8) esta parte de la investigación se destina a proponer detalles constructivos de conexión y del sistema plegable retráctil, ya que como anteriormente se mencionó que el nodo es la parte más importante del sistema transformable, la conexiones deben de cumplir con los parámetros establecidos, que es la conexiones articuladas(flexible), la fijación debe tener en equilibrio de sistema y redistribución de los esfuerzos en toda la estructura tanto al plegarse como en estado rígido (transformación), por ultimo debe ser fácilmente manipulable y no tan complejo al utilizarse, es por ello que debe ser un nodo casi estandarizado (pre fabricado).

Este concepto importantísimo para generar la tecnología adecuada se define como la prefabricación es la habilitación de elementos fuera de obra, permitiendo que los tiempos de construcción se reduzcan por la habilitación simultánea de la construcción, sus piezas industrializadas optimizan el tiempo de ensamble.

El montaje se controla por adosamiento y plegados, ésta depende de la estructura que se utilice, le dará la versatilidad de acoplarse a ella o desarrollarse más rápido en su montaje, teniendo estos factores la propuesta final de proyecto de investigación contemplara todos esta premisas y cotas puntuales a la hora de desarrollar el diseño de la cubierta ligera retráctil tensada.



**Figura 7, 8.** La generación de los detalles constructivos en la construcción es parte importante para la transferencia y desarrollo de la tecnología estructural de la investigación. Fuente: Morales 2012.

### 3. Simulación de Modelos Constructivos.

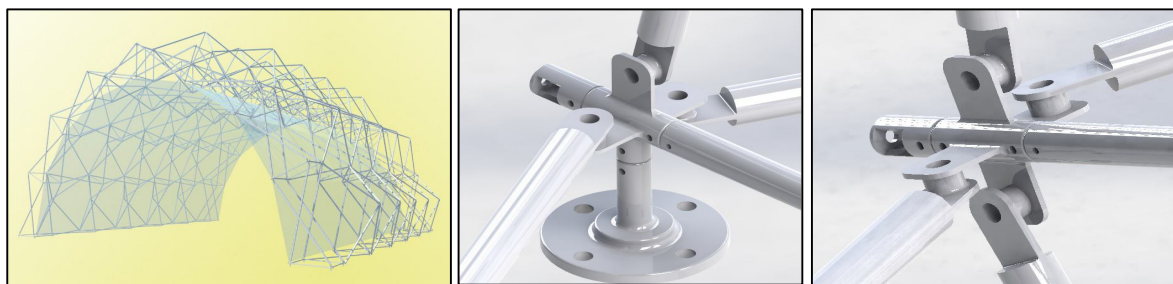
Para concluir la etapa de experimentación y construcción de una propuesta de diseño estructural de un sistema transformable, presentamos los siguientes modelos constructivos simulados por computadora, esto se realizó ya que el programa ejecuta un cálculo de conexión y se explora el diseño de una unión eficiente y funcionalmente estructural para poder distribuir los esfuerzos adecuadamente, por ello se realizan dos aproximaciones diseño para ver cuáles son sus cualidades de cada uno y sus ventajas y desventajas que pueden llegar a tener, dichas conexiones fueron pensadas y elaboradas para realizarse con acero estructural A36 o denominación europea S235, con estos parámetros se diseña destalles básicos de unión.

Posteriormente esto nos dará parámetros para realizar un pequeño prototipo a escala 1:1, y verificaremos varias cosas, como el montaje y su comportamiento estructural en conjunto, por ello es importante esta exploración de modelación de conexión, las propiedades que debe tener esta unión es que debe de ser con concurrencia puntual,

no debe de tener excentricidad alguna, caso que en el modelo anterior se propuso miembros cuadrados y rectangulares, estos no servirán y se propondrán diferentes alternativas por muy sencilla razón, geométricamente el cuadrado y el rectángulo tiene mucho radio de giro y no puede haber una excentricidad adecuada a la hora de acomodar sus cara, es por ello que se propondrán otro tipos de miembros.

Propuesta: Cubierta Retráctil Unidireccional Cilíndrica con Nodos Flexibles y Articulados en sus extremos.

Descripción: La cubierta cilíndrica unidireccional está compuesta por nodos flexibles de acero, el nodo se diseñó de la forma más sencilla para poder hacer las conexiones lo más cercanamente posible al unión y esta se diseñó de forma tubular para que pudiera tener una mejor conexión en los miembros, (figura 9, 10, 11) se desarrollaron otros nodos para cada conexión variable que tendrá la cubierta, con esto se le da mayor versatilidad al sistema, por último se agregó un nodo de contra venteo para que se integrara la estructura en un solo sistema y no tuvieses que desmontar nada por separado, eficientando el proceso constructivo de dicha cubierta transformable.



**Figura 9, 10, 11.** Se desarrollaron los detalles estructurales de la estructura en un modelo 3d, para que la siguiente etapa que es la construcción se solucionaran tal cual como en dibujo 3d, posteriormente se mejoraron para el registro de patente.

Fuente: Morales, 2012.

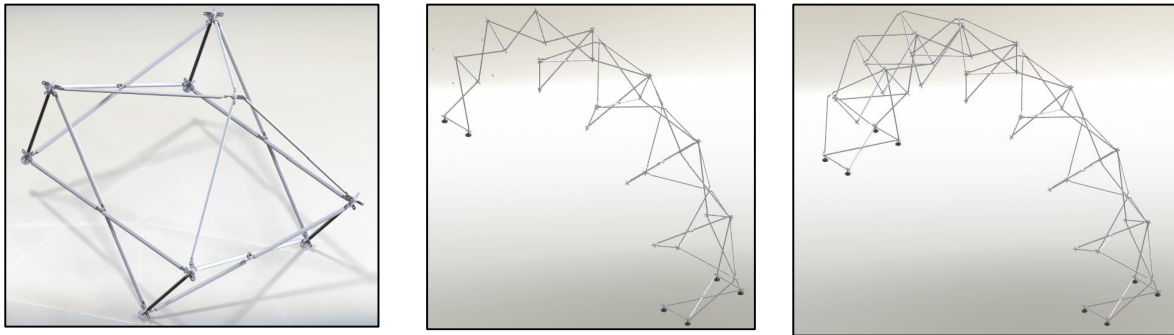
Tipo y Proceso de Montaje: El proceso constructivo de la estructura y su montaje es de fácil ejecución si se usa una grúa para desplegarla, también esta puede ser armada por partes ya que sus nodos articulados le dan esa flexibilidad, pero la estructura está diseñada para que pueda transformarse la veces necesarias, , (figura 12, 13, 14) ya que el nodo versátil que se le ha diseñado puede integrársele infinidad de accesorios que puedan permitir una ejecución exitosa, se aprovechó en mejorar los miembros de la estructura se propusieron de tubos redondos ya que el radio de giro en mayor y tiene mejor excentricidad a la hora de colocar sus miembros en las conexiones, de igual manera este nuevo diseño hace que concurran las fuerza en la conexión mucho mejor que la anterior propuesta por ello esa puede tener mucha mayor eficiencia estructural.

#### Ventajas

Los nodos articulados y flexibles es una de las grandes ventajas de este sistema plegable, ya que con esto puede construirse la cubierta de forma más rápida y eficiente, ya que sus conexiones son más sencillas y con accesorios más simples de poder manipular, es vital que su armado previo se lo más rápido posible para que a la hora del montajes se lo mas fluido para construirse.

#### Desventajas

El problema que pudiera llegar a tener seria el mismo peso de la estructura, ya que la no tan fácilmente se puede solucionar algun contra tiempo en el desplegado, ya que sus miembros de acero en conjunto pueden alcanzar pesos demasiados grandes y no hacer fácil la maniobra de construcción.



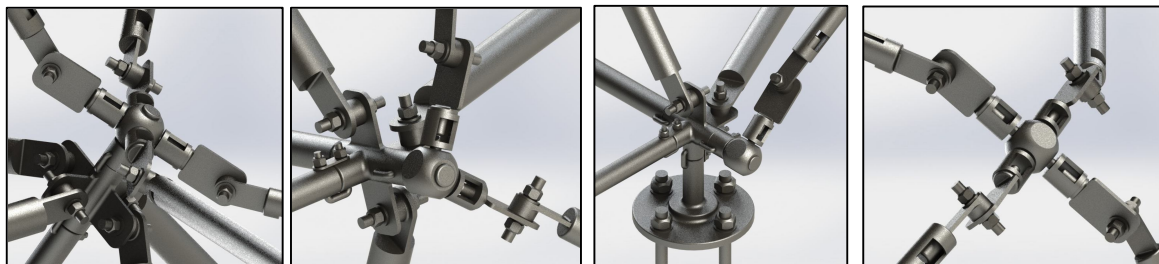
**Figura 12, 13, 14.** Se desarrollaron los detalles estructurales de la estructura en un modelo 3d, para que la siguiente etapa que es la construcción se solucionaran tal cual como en dibujo 3d, en la simulación verificamos la conexiones del conjunto.

Fuente: Morales, 2012.

#### 4. Conclusión

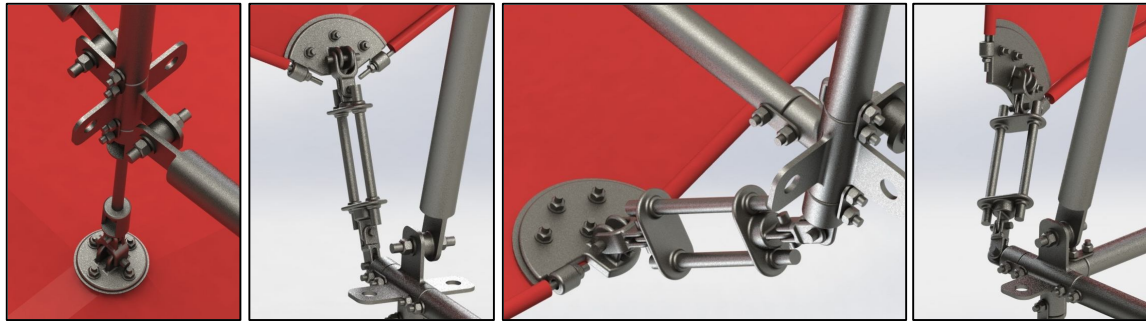
Siguiendo con el análisis anterior se desarrollaron detalles estructurales en donde se verifico que la estructura tendría que ser a base de nodos articulados en dos direcciones, para que su plegabilidad fuera optima, (figura 15 al 18) en los modelos podemos observar que los nodos están compuesto por una nodo centrar articulado unidos con tuercas y un bushing de 1" de espesor para darle la facilidad de girar, esto para que los miembros conectados puedan plegarse, en la parte superior de esos nodos están conectados con otro nodo compuesto que ayuda a conectarse con miembros que hace la figura del contra venteo, en este caso los contra venteos y los nodos de unión que los conecta se componen por un nodo esférico con cuatro brazos esto ayudan a que tengan un tope que ayude a sujetar y también giren sobre su ejes, esto para adecuar la geometría del contra venteo, en la parte inferior de los nodos principales se sujeta un atiezador que ayuda a estabilizar y a rigidizar la estructura, en los nodos principales de la parte inferior están sujetos a detalles sujetadores de pretensado que ayudan a mantener unidas con el manto de la membrana.

Estos detalles del manto (figura 19 al 22) se componen por accesorio que ayudan a estabilizar el manto, por lo regular se componen por un bastón de pretensado, que regula el pretensado de la misma cubierta, el accesorio bi articulador, este hace que la conexión tenga movimiento en dos direcciones, ya que esta estructura tiene movimiento porque la membrana es muy delgada y puede moverse por un pequeño viento, pero este no debe moverse demás, ya que entraría en resonancia y podría colapsar, en este caso el pretensado ayuda a que la geometría se mantenga ideal para dichas tensiones que se llegaran a originar en la cubierta retráctil.



**Figura 15 al 18.** Se desarrollaron los detalles estructurales de la estructura en un modelo 3d, para que la siguiente etapa que es la construcción se solucionaran tal cual como en dibujo 3d, con ello comprobamos la traslación del diseño a la ingeniería de simulación estructural, aun que falta comprobar los detalles en el ámbito de la construcción la relación con la realidad siempre estuvo presente en la elaboración de estos modelos.

Fuente: Morales, 2012.



**Figura 19 al 22.** Posteriormente se desarrollaron los detalles estructurales de las uniones del manto de la velaría, la importancia de estos detalles fueron la colocación del pretensado y el accesorio de bi-articulación para sostener la flexibilidad adecuada para el equilibrio de la cubierta.  
Fuente: Morales, 2012.

## Referencias

- [1] **Morales Guzmán, Carlos César**, *Diseño de Sistemas Estructurales Flexibles en el Espacio Arquitectónico*, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009, México.
- [2] **Morales Guzmán, Carlos Cesar**, *Diseño de Sistemas Flexibles en el Espacio Arquitectónico*, Editorial Academia Española, 2012, España.
- [3] **Morales Guzmán, Carlos César**. Diseño de una Cubierta Retráctil Tensada, Actividad Post Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, 2012, España.
- [4] **Morales Guzmán, Carlos César**. Diseño y Análisis de Sistemas Transformables en las Cubiertas Tensadas, Actividad Post Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, 2013, España.
- [5] **Morales Guzmán, Carlos César**. Diseño y Sistemas de Cubiertas Plegables Tensadas Transformables, Universidad Camilo José Cela, 2013, España.