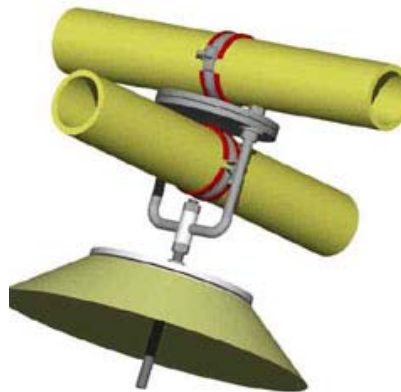




# ETSAB

# ETSAV



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA - ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA -  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DEL VALLE - DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
ARQUITECTÓNICAS 1

## DISEÑO DE ESTRUCTURA TRANSFORMABLE POR DEFORMACIÓN DE UNA MALLA PLANA EN SU APLICACIÓN A UN REFUGIO DE RÁPIDO MONTAJE

Tutor: Dr. José Ignacio Llorens  
Co-tutor: Dr. Ramón Sastre Sastre

Autor: Arq. Nelson Rodríguez

BCN Diciembre 2005

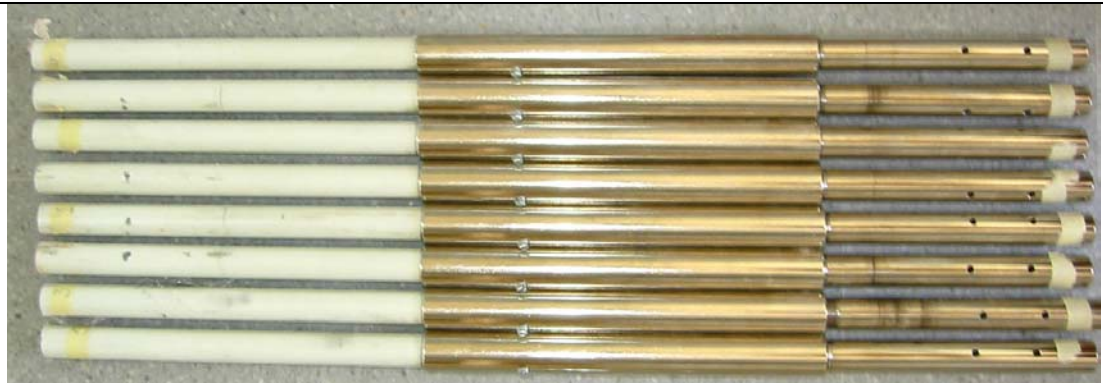
### 3.3 Armado de piezas, ensamblaje de la malla del prototipo “SUDAKA TENT”

El criterio fundamental para el proceso de armado de la estructura de barras es que debe ser sin producir desperdicios, un armado “en seco” de piezas y componentes que asegure que pueden ser reutilizadas.



Figura N° III-29: Armado del nudo de la malla

### Terminales de barras del Borde



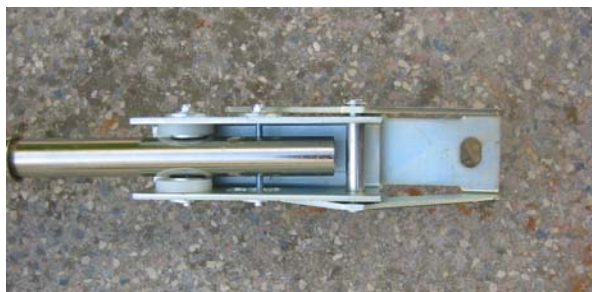
Los terminales de barras de los bordes están conformadas por:

- Barra de plástico de transición.
- Sistema telescópico de nivelación en tubos de acero.

Este terminal de barra de los arcos contribuye con un peso inicial al proceso de deformación.

Figura N° III-30: Armado de la pieza terminal de la barra de los arcos perimetrales

### Bases



La base es articulada con giro en un sentido (asegurado por el pasador y el otro sentido el tubo roscado permite corregir pequeños ángulos de dirección), esto con la finalidad de adaptarse a los ángulos finales de la malla, está conformado por:

- Pieza de base giratoria.
- Separadores.
- Pernos de unión.

Figura N° III-31: Bases articuladas

En este detalle se produce el primer cambio con respecto al catalogo de componentes. Esta pieza que originalmente era una pletina de unión paso a ser un plancha de unión que recibe las bases de los terminales de barra y tiene unas guía donde se apoya el bloque de hormigón que le hace peso al anclaje conformando un anclaje superficial.

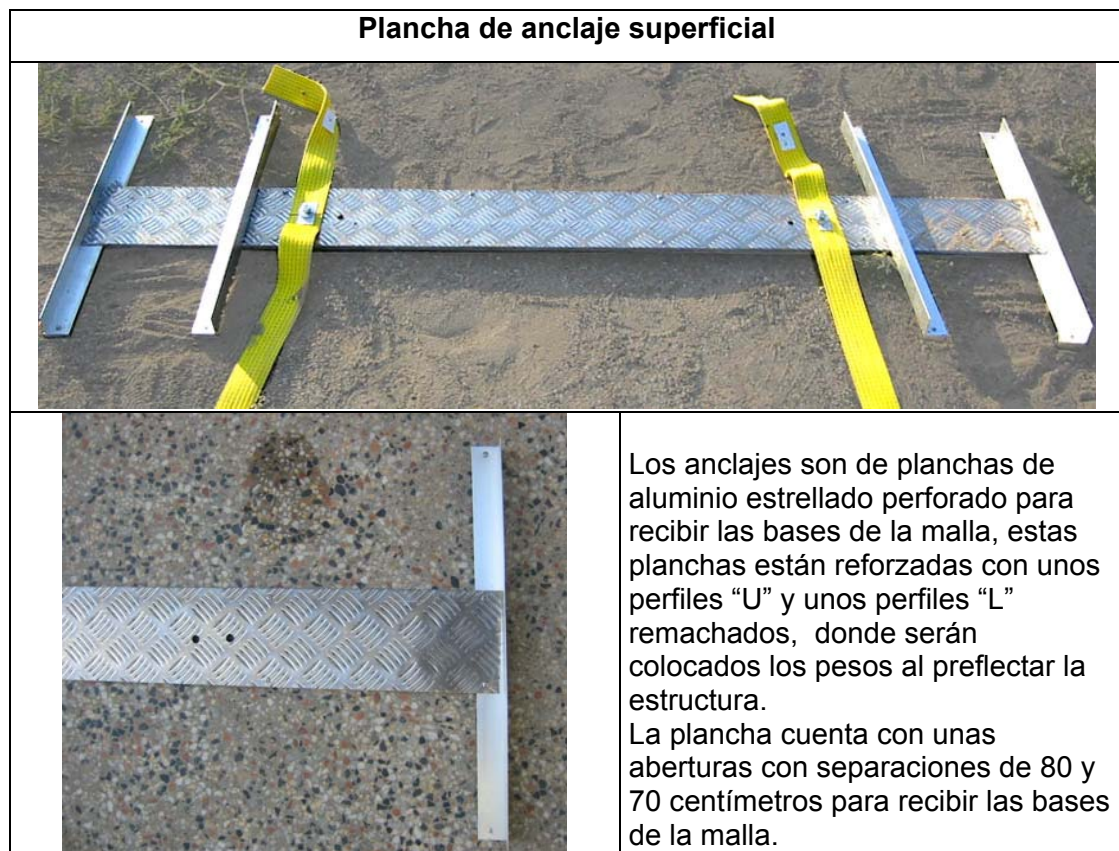


Figura N° III-32: Pieza de anclaje



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de las barras y nudos centrales en ambos sentidos.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de las barras inferiores en un sentido y colocación de todos los nudos.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de las barras superiores en sentido transversal a las inferiores.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apretado de las abrazaderas de los nudos.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de los tapones de protección en los terminales de las barras y bases.</li> </ul>	

Figura N° III-33: Ensamblaje de la malla

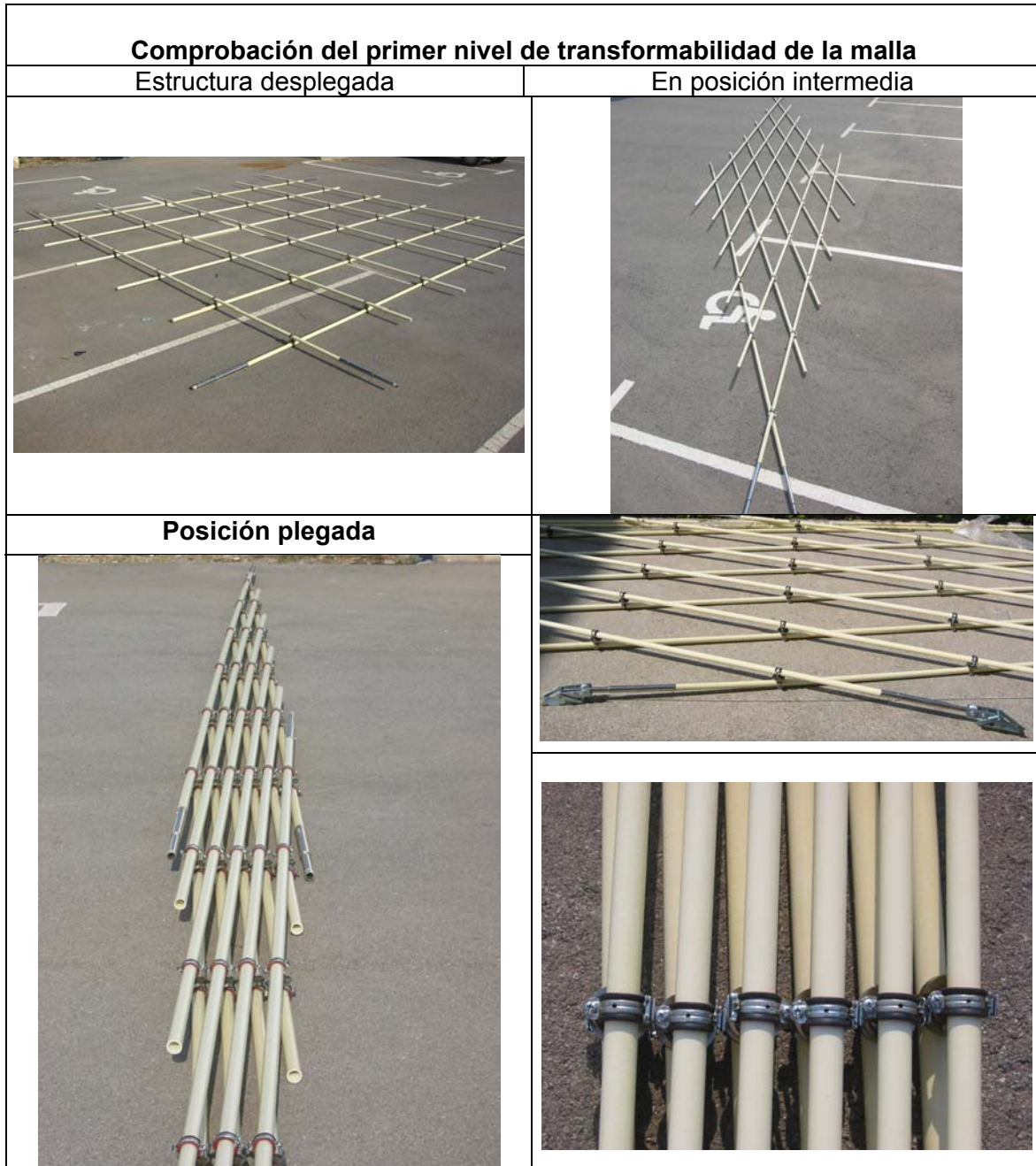


Figura N° III-34: Primera transformabilidad de la malla

En este primer nivel de comprobación los nudos funcionaron perfectamente haciendo plegar la malla hasta su posición totalmente cerrada para ser transportada y abierta para ser montada en el sitio. La longitud total de la malla plegada es de 12m. El transporte de la malla se puede abordar desde varios puntos de vista, uno es el prever transporte especial para transportar la malla totalmente armada y plegada, con lo cual la tolva tendrá como mínimo la longitud de la malla cerrada.

La otra manera es transportar los componentes en forma separada (barras, nudos y bases), tal y como sucede con las carpas, es decir que la malla será armada en un lugar cercano al montaje final pudiendo ser transportada por tracción humana, ya que sólo pesa 67.33Kg, pudiendo ser transportada por 3 operarios (22.44Kg cada uno) ubicados dos en el extremo y uno en el medio para evitar el pandeo. De esta manera se evita el transporte especial.



Figura N° III-35: Estructura completamente cerrada. Longitud total 12m

### 3.4 Proceso de erección y montaje de la malla del prototipo “SUDAKA TENT”

El profesor Carlos Hernández del IDEC-FAU-UCV en el artículo titulado “**Desarrollo de estructuras transformables: ESTRAN1**” define que:

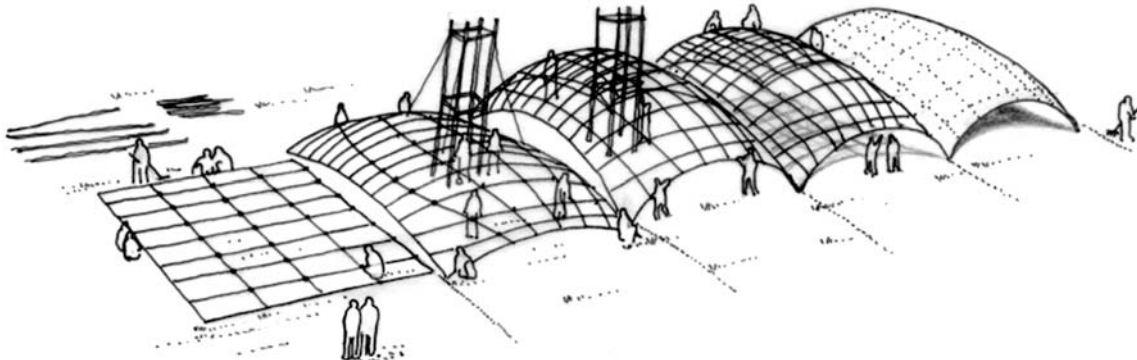
*“El proceso de montaje de una estructura transformable, es un elemento clave para su éxito (...) durante el proceso de despliegue, la estructura atraviesa configuraciones geométricas desfavorables pudiendo hacer fallar los perfiles de la estructura (...) es por ello es necesario que el diseño y el cálculo de la estructura se hagan para las condiciones de despliegue.”<sup>(5)</sup>*

Esta característica resaltada por el prof. Hernández, es un comportamiento de las estructuras transformables que se repite tanto en las articuladas como en las pre-flectadas, de acuerdo a nuestro resultado. En el capítulo anterior cuando calculamos los esfuerzos durante el proceso de erección comprobado teóricamente como al estar la estructura a una flecha de  $\frac{3}{4}$  de su deformación total se produce una fuerza axial de 1800 kg (ver pag. 108), el valor es significativamente mas elevada que los esfuerzos finales de la estructura. Este aspecto lo pudimos comprobar en el montaje del prototipo por lo que es importante que el sistema para introducir la pre-flexión de las barras actúe en tres dimensiones, soporte esta carga y reparta los esfuerzos de manera homogénea en todas las barras. Esta condición hace que los sistemas unidireccionales como cintas o tensores sean descartados para introducir la preflexión.

Hay que aclarar que el diseño del accesorio para introducir la preflexión a las barras puede ser un tema complicado por su función y polémico por su resolución, en nuestro caso, como no es objeto de estudio directo de esta investigación el diseño del accesorio en sí mismo sino comprobar la geometría obtenida en el capítulo anterior, se resolvió utilizando dos tipos

de accesorios conocidos para realizar el proceso de montaje y erección. El primero es a través de un andamio central colocando la estructura sobre este y deformar por los extremos de arriba hacia abajo y el segundo método, que es más rápido, pero más costoso, es el de elevarla con una grúa-pluma desde le piso. Este segundo método tiene la gran desventaja, a demás de encarecer el proceso, que tiene dificultad de acceso a ciertos lugares, es aquí donde la forma de erectar la estructura por un pequeño andamio central toma ventaja. Hay que mencionar que de lo que se trata en este estudio no es movilizar peso sino introducir fuerza en tres direcciones que esta en el orden de los 1.895 Kg.

**Planteamiento original**  
(boceto de la formulación del proyecto)



**Primer método ensayado**

Proceso de preflexado elevando la malla sobre un andamio y aplicando cargas en las bases para la flexión de la malla. Insistimos que el accesorio para introducir la preflexión tiene que actuar tridimensionalmente, por lo que no es parte de este estudio los accesorios que actúan sólo en un sentido. (ver video N° 2 en CD-ROM)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de la malla sobre el andamio en posición cerrada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Despliegue de la malla.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de pesos</li> </ul>	



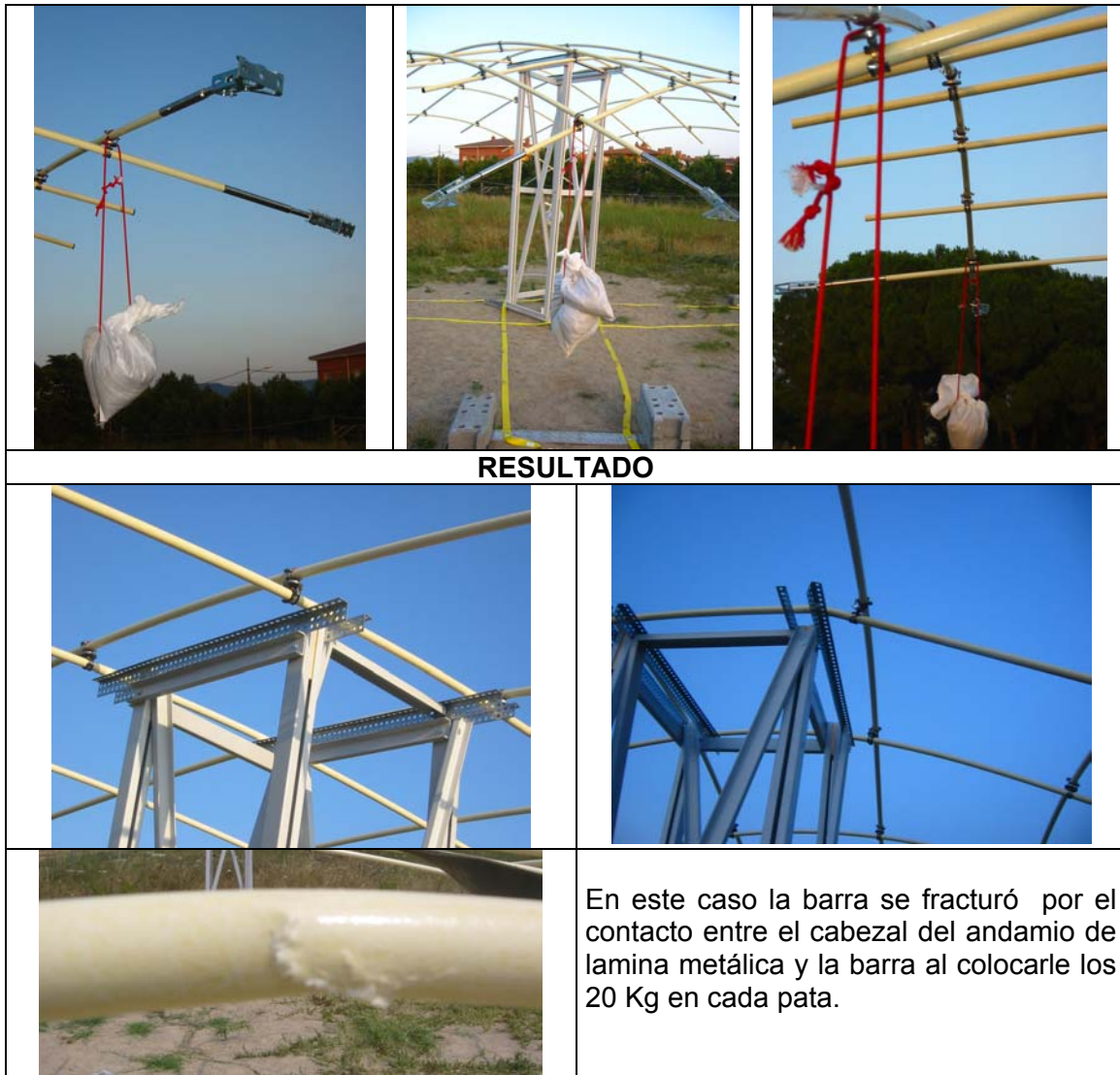


Figura N° III-36: Primer ensayo de montaje con andamio

#### Aspectos positivos







- Es económico.
- Relativamente fácil de realizar.
- Requiere sólo de cuatro (4) operarios que maniobren la estructura.
- La introducción de la preflexión es aplicada en los tres sentidos al unísono.

#### Aspectos negativos

- La deformación puede no ser homogénea durante el proceso por causa a la colocación asimétrica de los pesos
- El cabezal del andamio puede cortar la barra
- El proceso se hace más lento
- El andamio es una estructura adicional

## Segundo método ensayado

Proceso de deformación elevando la malla desde el piso con una grúa-pluma

<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocación de la malla desplegada sobre el piso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocación de las bandas en el cuadro central de la malla.</li> </ul>
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comienzo de elevación hasta 1.5 metros de altura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocación de los pesos gradualmente a medida que la grúa eleva la malla.</li> </ul>
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Unión de los terminales de las barras de los arcos de borde a las planchas de anclajes superficiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevación final de la malla hasta conseguir la forma.</li> </ul>
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>A las planchas de anclajes se les colocaron un par de bloques de hormigón con un peso de 35 Kg c/u y se colocaron cintas de seguridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El detalle de la unión entre las bases metálicas de la malla y la plancha de anclaje funcionó de acuerdo a lo estimado.</li> </ul>

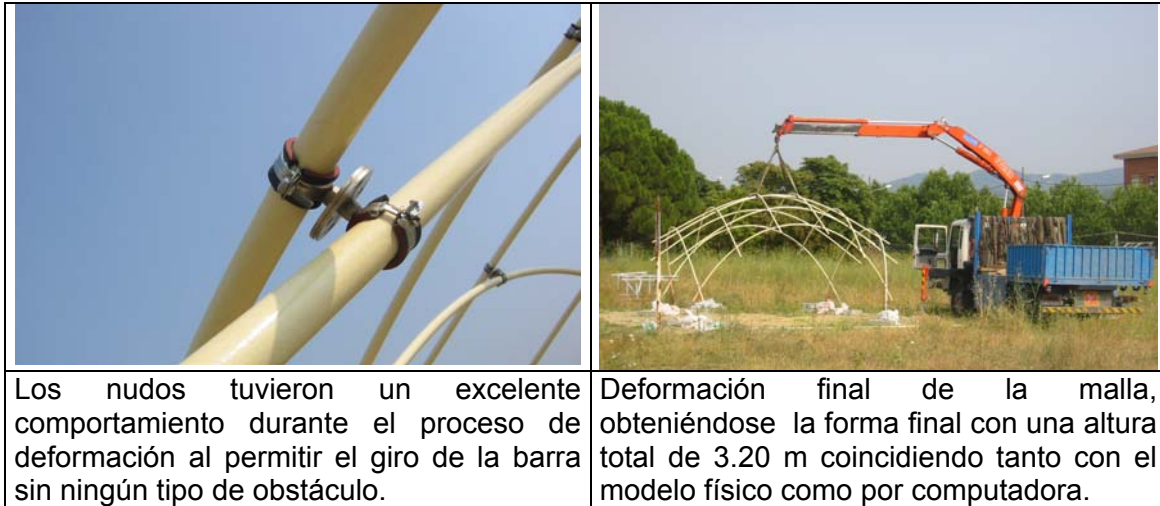


Figura N° III-37: Segundo ensayo de montaje con grúa

(Ver video No. 2 en CD-ROM)

#### Aspectos positivos

- El proceso de deformación es homogéneo gracias a la fuerza mecánica que se le aplica desde la grúa.
- Es más fácil para controlar todo el proceso de preflexión.
- Es más rápido (tiempo: 5 min)
- Requiere máximo de cuatro operarios o menos.

#### Aspectos negativos

- Es más costoso por el precio de alquiler de la grúa.
- Los nudos donde se sujetan las bandas de la grúa para la elevación, pueden torsionarse.

## RESULTADO

La cúpula perdió la flexión de las barras internas en la malla al descolgarla de la grúa-pluma. Esto se debió a que en las abrazaderas con el sistema clip's, no aplicaron la suficiente presión sobre las barras permitiendo que éstas deslizaran a nivel de los arcos de borde llegando a desplazamientos entre los 20 a 30 centímetros.

Esto conlleva a la pérdida de toda la geometría dado que las barras se desplazan hasta conseguir equilibrio deformando los nudos en la dirección del desplazamiento ya que el sistema de giro está bloqueado.

Los arcos del borde que están anclados mantienen su preflexión



## Levantamiento de la geometría resultante

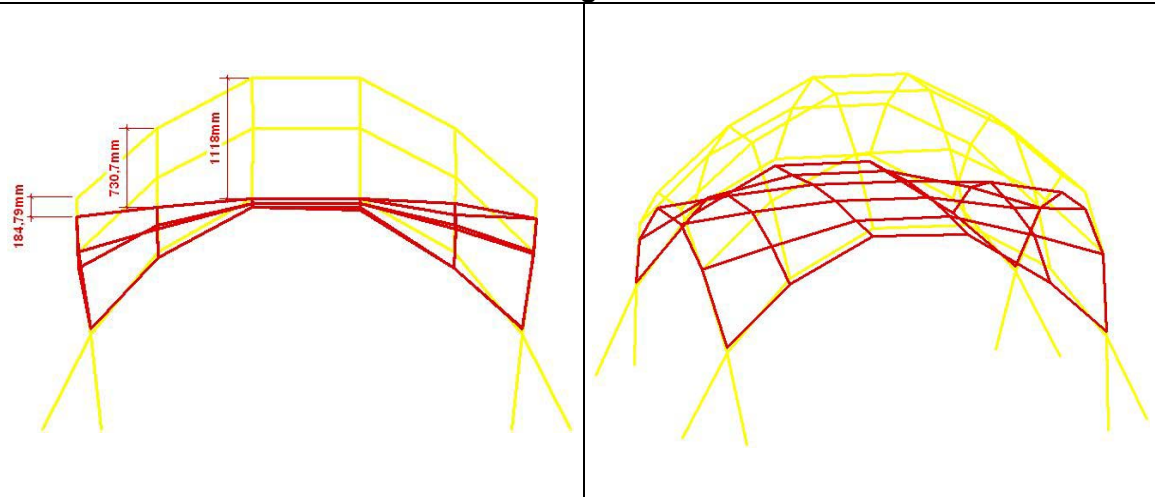


Figura N° III-38: Resultado del proceso de erección

Los desplazamientos de las barras fueron relativamente simétricos y distribuidos uniformemente en toda la superficie conservando su comportamiento de malla. La diferencia máxima entre las crestas es de 1.18 mts. Este resultado es similar al obtenido en el modelo por computadora antes de bloquear el giro de los nudos

(ver pag. N° 105, cap. N° 2).



Figura N° III-39: Deformación en los nudos de la malla

Los nudos internos en la malla se deforman y tienden a separarse una vez que es restringido el sistema giratorio de los nudos. Esto hace evidente la excentricidad a que está sometido el nudo producto de los esfuerzos de corte y torsión en las dos direcciones. Por otra parte se evidencia que la goma de la abrazadera no es suficiente para evitar que la barra se deslice entre el nudo.



### Barras internas en la malla

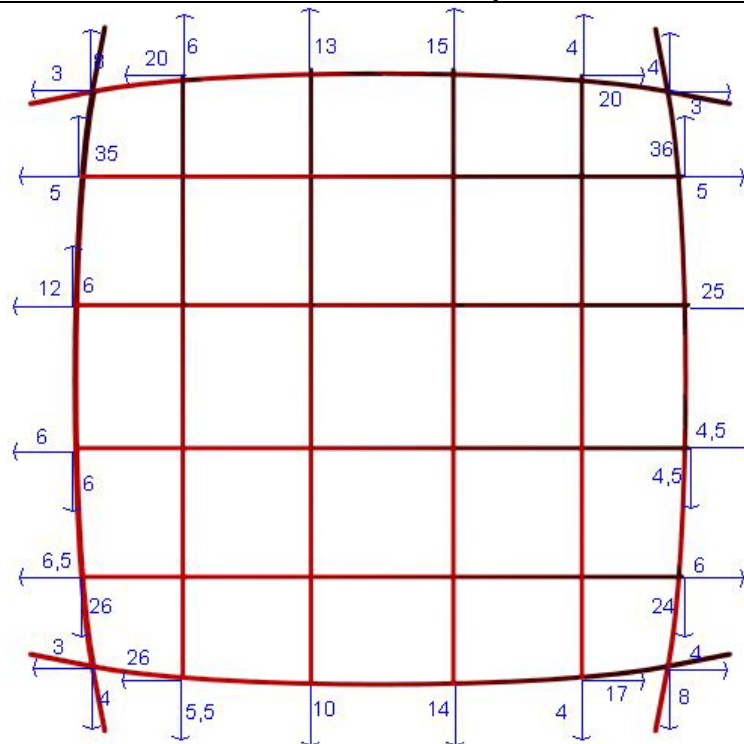


Barra arqueada y fuera de posición.

Los arcos del borde mantienen su preflexión inicial ya que están sujetos a las planchas de anclajes.

Figura N° III-40: Deformación en las barras

### Planta indicativa de la dirección de los desplazamientos de las barras



Todos las medidas son centímetros

Figura N° III-41: Desplazamiento de las barras

### Desmontaje de la estructura



Primero se desbloqueo los aros del nudo, internos a la malla y luego se fue abriendo con el sistema clips de cada nudo desmontando barra por barra hasta que sólo quedaron los cuatro arcos perimetrales.

Este proceso demostró la recuperabilidad de todos los componentes de la estructura sin presentar deformaciones producto del proceso de erección.

Figura N° III-42: Desmontaje

### Rediseño del nudo

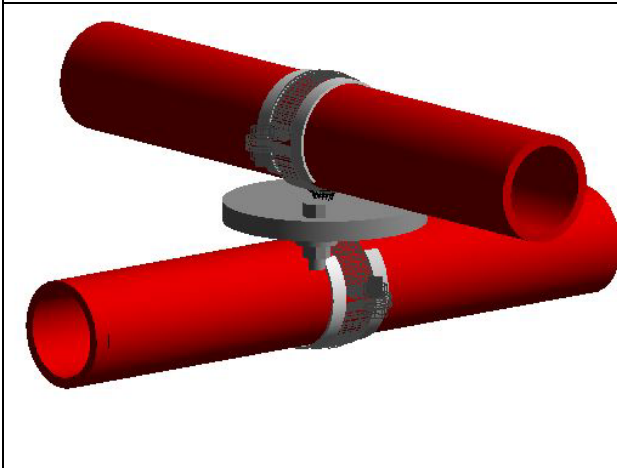
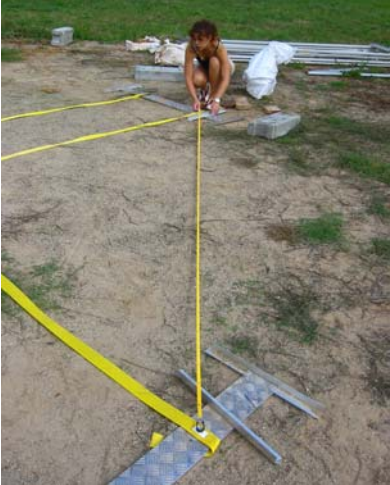





Figura N° III-43: Nueva propuesta de nudo con topes

El rediseño consistió en asegurar que el nudo no permitiera que la barra se desplazara y éste perdiera su eje, esto se materializó colocando a ambos lados de la abrazadera unos topes de plásticos, encolados con resina, estos topes son de una sección más pequeña que la barra para que le aplicara presión, por otra parte se encoló con el mismo pegamento de resina el forro de goma a la abrazadera para que esta no se desprendiera del aro metálico de la abrazadera.

Todo estos cambios se realizaron con el objetivo de aumenta el roce entre la barra y el nudo sin que el aspecto visual del nudo se modificara considerablemente.

### Tercer proceso de montaje con segundo método de montaje

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Replanteo de los anclajes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de los pesos y las bandas de la grúa en los nudos centrales.</li> </ul>
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comienzo del proceso de erección, esta vez sin operarios sólo el que manipulaba la grúa (duración 5min)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso continuo sin presentar deformaciones no deseadas hasta alcanzar la altura de cresta en 3.20m y arco de 2.10 m. Anclándose las bases de las barras de los arcos perimetrales a las bases previamente instaladas, colocándose los pesos correspondiente. 30 kg por base.</li> </ul>
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comienzo del bloqueo de los nudos una vez alcanzada la geometría, para lo cual se utilizaron dos operario, pudiendo disminuirse a uno en la medida que la actividad se hace rutinaria, considerando que son dos tornillos por nudos haciendo un total de 72 tornillos tomando un a duración de 2,5 horas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mientras se realiza el proceso de bloque de los nudos la grúa mantiene la cresta de la cúpula en su posición.</li> </ul>





### Resultado



Nudo bloqueado con tornillos y tuerca que impiden el movimiento de rotación o giro del nudo.

El nudo se encuentra en posición correcta y sin presentar deformaciones no deseadas ni excentricidades entre las barras

Los elementos de tope y de aumento de roce funcionaron y no permitieron que la barra se deslizara a través de la abrazadera

(Ver video N° 2 en CD-ROM)

Figura N° III-44: Segundo proceso de erección

## RESULTADO

Una vez retirada la grúa, los nudos funcionaron muy bien al no permitir el desplazamiento de la barra, como se dijo antes, con lo que éstas mantienen su preflexión.

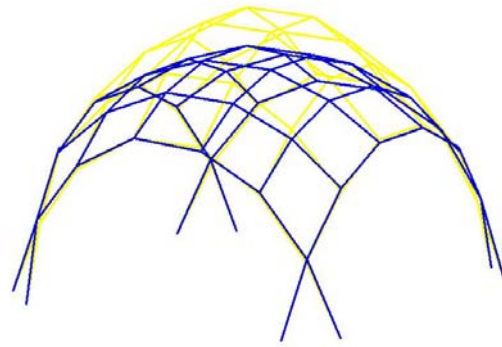
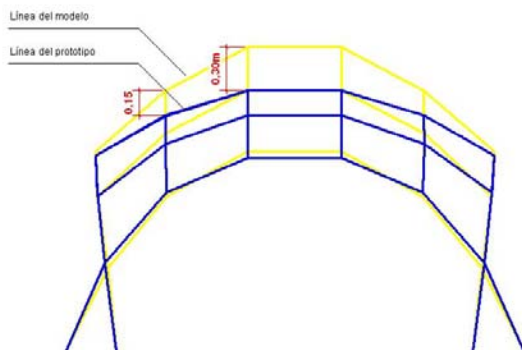
Los arcos perimetrales se abrieron unos 4 centímetros con lo que la cresta se asentó y la cúpula disminuyó 30 centímetros de altura. Esta abertura de los arcos se debió a que la base está articulada siendo necesario que la estructura encuentre un nuevo equilibrio. Este efecto demuestra que pequeñas deformaciones en los arcos perimetrales tiene grandes repercusiones en la cresta de la cúpula como se demostró en el capítulo N° 2.

Tabla de resultados

Altura total alcanzada	2.80m
Luz total cubierta	5.00 m
Flecha del arco	2.10m
Peso total por base	60Kg
Área cubierta	17.81m <sup>2</sup>



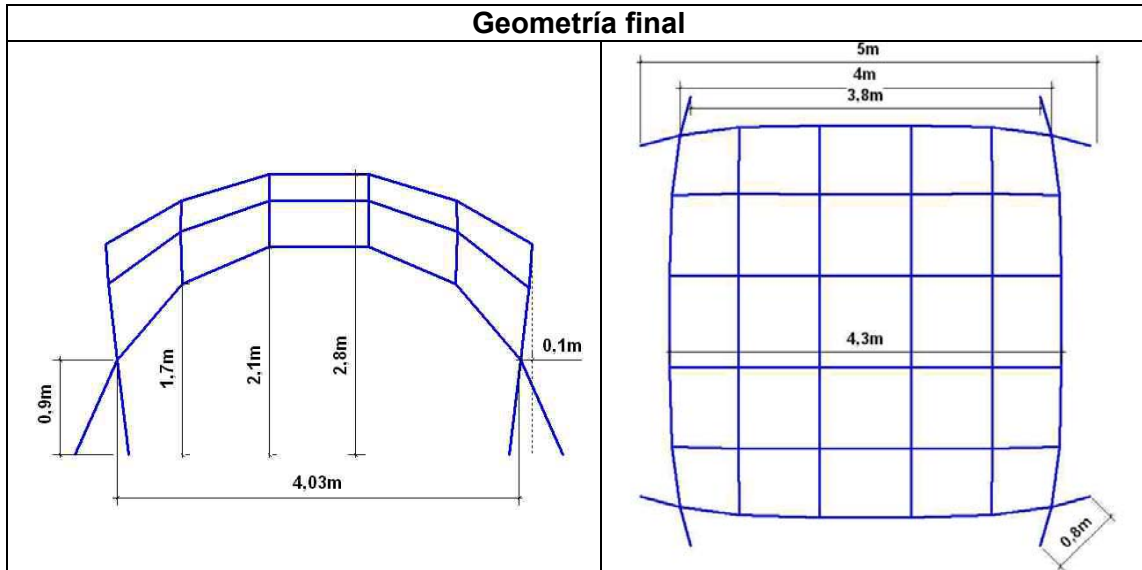
### Comparación de la geometría resultante del prototipo con el modelo



La línea amarilla representa la geometría teórica de los modelos físicos y por computadora.

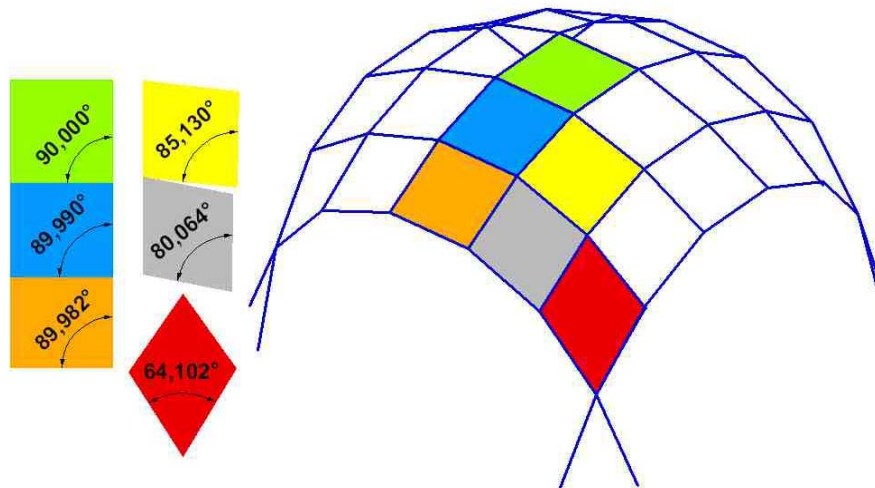
La línea azul es la geometría resultante en el prototipo luego del proceso de equilibrio al soltarse la estructura del sistema para deformar la malla

Cuadro N° III-1: Resultado del segundo montaje



La forma de la cúpula resultante fue achatada en la cresta, sin embargo desde el punto de vista dimensional la cúpula genera un espacio utilizable y funcional

**Estudio de los ángulos en la geometría final**



Ángulos medidos en verdadero tamaño.

Los ángulos de cruce de barras correspondiente a la línea central de la malla no tienen un cambio significativo pudiéndose decir que se mantienen la ortogonal. No así en las zonas de los extremos, en la medida que nos acercamos a las esquinas el ángulo entre las barras disminuye y se hace más agudo siendo el menor  $64.1^\circ$  el ángulo mas cerrado de esta estructura.

Este comportamiento global de la malla pre-flectada es consecuente con lo expuesto en el capítulo 1, en el cual realizamos un estudio geométrico igual al que aquí se presenta con los modelos de los estudios previos.

Cuadro N° III-2: Resultado geométrico

## Proceso de montaje de la membrana

Por el corto tiempo que dispuso el doctorando para el montaje del prototipo, se planteo la estrategia de realizar las pruebas de pre-flexión de las barras en forma paralela con la fabricación de la membrana utilizando las coordenadas teóricas del modelo digital. Ello trajo como consecuencia que al haber discrepancia entre el modelo digital y el resultado del prototipo el patronaje resultó largo en su altura presentando arrugas y con ello zonas vulnerables a empozamiento de aguas de lluvias e inestables estructuralmente.

<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocación de la membrana debajo de la cubierta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocación del punto alto. Unión de la membrana a la cresta de la malla.</li> </ul>	
		
<p>Unión Membrana-Cresta de la cúpula</p>	<p>Unión de las esquinas inferiores</p>	<p>Unión membrana-arcos perimetrales</p>
		
<p>En esta unión se experimento el detalle contenido en el catalogo de componentes donde no se perfora la membrana sino que se pega o se solda una tira de tela, ubicada cada 20 cm a lo largo del tubo de la cresta, que abraza un cable de driza haciendo borde, esta tira tiene una abertura central por donde pasa el tensor de plástico que la une a la barra y aplica la pretensión.</p>	<p>En esta unión se le coloca a la membrana un refuerzo de plástico por ambas caras cortado en forma triangular y unido por tornillos. En el vértice de la esquina inferior se le coloca un grillete y de tensa a través de un tensor metálico que va a parar a través de una cadena a la plancha de base con la finalidad de no aplicar al nudo esta carga puntual.</p>	<p>En esta unión se experimento con un ojete distribuido uniformemente a lo largo del borde de la tela por donde se pasa el tirrak que la une al tubo de borde de la malla. La pretensión se aplica a través del conector de plástico y se distribuye a todo lo largo del tubo. La membrana esta separada 5 cm del tubo, por lo que pudiera aceptar más pretensión</p>

Figura N° III-45: Proceso de montaje de la cubierta

Esquinas con tensor	Vista interior de la esquina
	
<p>En estas imágenes se puede observar como la membrana se ajusta a los arcos perimetrales y en las esquinas logra un buen nivel de pretensión arriostando esta parte de la cúpula. El problema se presenta en la cresta y en el punto intermedio donde no alcanza la altura teórica de los modelos simulados por lo que la membrana presenta arrugas considerables, lo cual hace que se presenten depósitos de agua a causa de las lluvias. Esto traerá como consecuencia una disminución de la vida útil de la membrana, al aparecer hongos sobre ella. En este sentido, hay que corregir el patronaje de acuerdo con las coordenadas obtenidas en el prototipo (Ver video N° 2 en CD-ROM)</p>	
<p><b>Resultado final</b></p>	
	<p>El prototipo desde su montaje final en (septiembre-2004) hasta la fecha de escritura de este capítulo a soportado fuertes ventiscas del invierno nov-dic 2004 y enero-marzo 2005.</p> <p>Esto indica que ciertamente la preflexión de las barras hacen que esta estructura funcione y cuando actúa sobre ella fuerzas externas como las antes mencionadas lo que se presente sea una disminución de la tensión estando la deformación en la región elástica del material, tal y como se señalaron las simulaciones del capítulo anterior.(Ver video N° 3 CD-ROM)</p>
	
<p>Foto septiembre 2004</p>	<p>Foto febrero 2005</p>

Figura N° III-46: Resultado final de la cubierta

### 3.5. Evaluación del prototipo

Para la evaluación del prototipo establecimos dos categorías; los aspectos cuantitativos y los cualitativos. Los parámetros cuantitativos, son todos aquellos datos que puedan ser cuantificados como peso, volumen, área, rendimientos, entre otros. Los parámetros cualitativos serán comentados de acuerdo a los siguientes puntos:

- Requerimientos Estructurales (Estabilidad, deformaciones, distribución de la carga,, redundancia, seguridad, transformabilidad)
- Geometría (forma, caminos de las cargas, desplazamientos, accesibilidad, maniobras, dimensiones, tolerancias, holguras)
- Desperdicio, reciclaje y durabilidad (estanqueidad, producción de desperdicios, corrosión, reciclaje de los componentes)
- Aspecto visual (Relación peso / ligereza, suavidad, irregularidad, proporción entre las partes)

### Análisis de los resultados obtenidos en la evaluación

#### 3.5.1.- Barras:

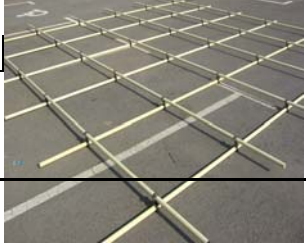
Aspecto a Evaluar: <b>BARRAS</b>		
A. Parámetros Cuantitativos		
A.1 Tipo de material:	Fibra de Vidrio reforzado con PVC	
A.2 Peso global:	<b>29.16 Kg</b>	
A.3 Volumen de material usado	<b>0.0023 m3</b>	
A.4 Área cubierta sin pre-flexión:	<b>36m2</b>	
A.5 Rendimiento:		
Relación peso global/área:	<b>0.81 Kg/m2</b>	
A.6 Limitaciones:	longitud max. <b>6mts</b>	

Tabla N° III-3: Aspecto cuantitativo: Barras

#### B.- Parámetros Cualitativos:

Es un material óptimo para un uso en una estructura transformable que debe ser ligera, si analizamos el dato del rendimiento de la relación entre el peso global y el área, dentro de los parámetros cuantitativos, vemos que es un material que cumple con la exigencia de ser ligero y con altas prestaciones de resistencia estructural, de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, comentado en el capítulo N° 2 y complementada en el anexo N° 2.

Desde una óptica cualitativa se puede señalar el excelente comportamiento estructural de los perfiles PRFV, del cual se deduce que, aunque es frágil, es un material adecuado para colocarlo a trabajar a la flexión dada su alta resistencia a estos esfuerzos, siempre y cuando las fuerzas que actúan sobre él sean repartidas equitativamente a lo largo de la barra y no haya concentraciones de esfuerzos en puntos específicos.

En el proceso de pre-flectado, las barras mantuvieron su curvatura sin presentar deformaciones no deseadas ni roturas, alcanzando las luces teóricas indicadas tanto en el

modelo físico como en el informático. La rotura que sucedió en el montaje con andamio se debió principalmente al contacto directo entre la barra y el cabezal metálico del andamio.

En cuanto al desperdicio y su reciclaje se puede comentar que el proceso de armado de la malla no produce ningún tipo de desperdicio al utilizar todo el largo de la misma. A su vez, estas pueden volver a su estado inicial plano, sin presentar curvaturas en su longitud, además pueden dejar de ser malla y reutilizarse en otros usos. Sin embargo, cuando se evalúa su capacidad de ser reciclado en forma sencilla vemos que el material presenta susceptibilidades, ya que se requiere de maquinaria y proceso especial para este fin.

Por otra parte, la longitud de la barra de 6 m, además de ser liviana y fácil de transportar, produce una geometría proporcionada entre las alturas y las luces dado que por una parte permite el acceso al interior de la cúpula y por la otra una vez dentro se pueden realizar actividades.

Este comportamiento indica que la selección el material (PRFV) fue acertada para la construcción del prototipo otorgándole resistencia a flexión y ligereza. Otro factor importante, es el cambio de color al entrar en contacto el perfil con los rayos solares indicando una debilidad del material ante los rayos ultravioletas, esta condición no descalifica su elección como material estructural, ya que, por una parte, se trata de una edificación móvil y efímera y por la otra, según el fabricante sus capacidades estructurales pueden durar hasta 50 años, protegido de los UV, pero como se supone que la aplicación referida en esta investigación sucederá a la intemperie, se puede reducir su vida útil a 25 años.

Cambio de color en la barra



La barra presenta cambio de color significativo a los dos meses de haber estado expuesta al sol. La zona más clara pertenece al lugar donde se fija el nudo y el resto de la barra se ha oscurecido por el efecto de la intemperie, sin embargo esto no afecta de manera inmediata, su capacidad estructural, en todo caso recordemos que estamos trabajando en el ámbito de la arquitectura efímera y móvil..

Figura N° III-47: Cambio de color en las barras

### 3.5.2.- Nudos:


<b>Aspecto a Evaluar: NUDOS</b>		
A.- Parámetros Cuantitativos		
A.1 Tipo de material: Abrazaderas metálicas con forro de asilante de goma y aros metálicos galvanizados		
A.2 Peso de la pieza:	<b>0.19 Kg</b>	
A.3 Peso global:	<b>13.68 Kg</b>	
A.4 Rendimiento de armado		
Relación Montaje/Area (*):		
Nº horas de armado	<b>3</b>	
Nº operarios en el montaje	<b>1</b>	
Rendimiento	<b>0.08</b>	

Tabla N° III-4: Aspecto cuantitativo: Nudos

## CAPITULO 3 DESARROLLO CONSTRUCTIVO: PROTOTIPO Y APLICACIONES

## B.- Parámetros Cualitativos:

De los parámetros cuantitativos podemos decir que tienen un rendimiento bastante alto, dado que, la relación entre el tiempo de armado, el número de operario necesario para ejecutarlo y el área cubierta es bastante bajo, esto se debe a que el nudo se desarrolló con una abrazadera con un sistema clip's de cierre por presión que facilita el proceso de armado de la malla, cuya realización puede ser ejecutada por una sola persona en un corto tiempo.

El nudo funciona bien en el proceso de abertura y cierre de la malla, permitiendo que la malla pase de la conformación geométrica de cuadrado o damero a rombos, exigencia indispensable que debía cumplir para que sea una estructura transformable, pero no logra, por sí sólo, mantener la pre-flexión de la malla debido a que el acabado de la barra es bastante liso y el nudo resbala sobre la barra, por lo que se hace necesario introducir elementos adicionales para aumentar el roce entre los dos componentes.

Otro factor negativo fue el hecho de que los nudos que se encuentran en las esquinas de cruce de los arcos de borde se deformaron, evidenciando que para el dimensionamiento de estos se tendrá que tomar en cuenta además de los esfuerzos axial y flexión, el corte que se tiende a concentrar en estos puntos. Todos estos aspectos estructurales evidencian que hay que introducir mejoras al diseño de la pieza.

Un aspecto importante de comentar es que la unión entre las dos abrazaderas a través de un eje metálico tipo pasador no presenta deformaciones ni roturas en todo el proceso hasta que es estructura. Así como también los aros que bloquean la estructura funcionaron correctamente.

En lo que respecta a los desperdicios, se puede comentar que el proceso de armado no conlleva la producción de desperdicios y al ser abrazaderas por presión permite su reutilización o reciclaje tanto de la barra como del nudo. Por otra parte el dimensionamiento del nudo con respecto a la barra en el conjunto se observa proporcionado, sin presentarse problemas dimensionales o falta de espacio para maniobras en el proceso de bloqueo. Sobre la durabilidad del material puede durar hasta 50 años, además, presenta un buen comportamiento ante la corrosión lo que supone una ventaja para su utilización en aplicaciones donde los agentes ambientales son agresivos. (ver anexo N° 3)

### 3.5.3.- Anclajes


Aspecto a Evaluar: <b>ANCLAJE</b>			
A.- Parámetros Cuantitativos			
A.1 Tipo de material: Pieza metálica terminal de barra articulada y unida a la base de aluminio			
A.2 Peso de la pieza:	<b>0.643 Kg</b>		
A.3 Peso global:	<b>5.153 Kg</b>		
A.4 Rendimiento:			
Reacción Preflexión ( $\sigma_N$ )	<b>34 Kg</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Resultado</b>
Peso Anclaje + pesos (Pp)	<b>70 Kg</b>	<b><math>\sigma_N/Pp</math></b>	<b>0.42</b>

Tabla N° III-5: Aspecto cuantitativo: Anclaje



De los parámetros cuantitativos podemos decir que los anclajes aportan el 8% del peso global de la estructura y el 3% del peso por que es necesario para deformar la estructura, peso suficiente para generar una flecha en la barra cuando comienza a deformarse.

Otro aspecto importante de los parámetros cuantitativos es el rendimiento cuando calculamos la relación entre la reacción de la pre-flexión y el peso total de anclaje nos da un valor de 0.42, por debajo del 50% de efectividad, esto es debido a que el peso del anclaje esta calculado para resistir vientos de 100 km/h, esta sobrecarga incrementa sustancialmente la reacción. Si por ejemplo tomamos la reacción con una sobrecarga homogéneamente repartida sobre la superficie, como la nieve, este rendimiento vemos que sube a 1.04, debido a que la componente Z de esa reacción se ubica en 73Kg que la dividirlo por los 70Kg del peso del anclaje nos da un valor que tiende a 1.

#### B.- Parámetros Cualitativos:

En los aspectos cualitativos el anclaje, en términos generales funciona muy bien desde el punto de vista estructural, en este sentido hay que comentar que el anclaje que se desarrollo es superficial por peso propio y no requiere de obras de infraestructura, sin embargo este anclaje no funcionara en terrenos muy plásticos o arenosos, dado que se puede hundir la estructura, para lo cual habrá que diseñar un anclaje pasivo adaptado a estos tipos de terreno.

Desde el punto de vista geométrico hay dos aspectos que comentar, el primero es que necesita de elementos adicionales, como el peso, para funcionar y el segundo es que el sistema telescópico de los terminales de las barras, pensado para poder adaptarse a pequeñas pendientes, no fue necesario dado que las dos patas actúan conjuntamente y el área a cubrir, al nivel de suelo, es relativamente fácil de poner plana, por lo que la pieza puede simplificarse notablemente.

Desde el punto de vista del desperdicio y el reciclaje, las piezas pueden reutilizarse y reciclarse totalmente, ya que son de acero y utiliza como protección anti-corrosivo el galvanizado. Por otra parte, la relación peso / ligereza se ve afectada dado que los pesos generan un volumen que contrasta con lo ligero de las otras piezas del terminal de la barra y la plancha de anclaje, aunque hay que destacar que su dimensionamiento es correcto.

#### 3.5.4 Membrana


Aspecto a Evaluar: <b>MEMBRANA</b>		
A Variables Cuantitativas		
A.1	Tipo de material: Membrana de nylon con PVC	
A.2	Peso global: <b>16.05 Kg</b>	
A.3	Área de superficie cubierta: <b>22.10 m2</b>	
A.4	Volumen de material usado <b>15.55 m3</b>	
A.5	Área proyectada: <b>17.95 m2</b>	
A.5	Rendimiento Relación Peso/Área (*): <b>0.72 Kg/m2</b>	
(*) área de superficie		

Tabla N° III-6: Aspecto cuantitativo: Membrana

De las exigencias cuantificables de este elemento podemos comentar que la membrana aporta el 24% del peso global de la estructura, por otra parte su rendimiento expresada en la relación peso / Área de superficie es bastante alta, lo que la convierte en un material idóneo para cerramiento cuando se piensa en una estructura móvil o transformable.

En términos generales, se puede afirmar que resulta apropiada para ejercer las funciones de cubierta colgada de la estructura de barras y a su vez de rigidización de la estructura lo que evita triangular la estructura de barras pre-flectadas con una exagerada cantidad de cables y tensores.

#### B.- Parámetros Cualitativos:

Dentro de los aspectos estructuras la membrana resulto adecuada para arriostrar la estructura, tal y como lo demostró el cálculo, en la parte de la cubierta del prototipo que se logro tensar la membrana rigidizó la estructura contribuyendo a su estabilización, en la parte alta de la cubierta donde las coordenadas no llegaron a su posición teórica, se presentaron arrugas y por consiguiente se presentaron zonas de charcos de agua. Por otra parte, el hecho que la aplicación de la pretensión esta integrado al detalle de unión entre la membrana y los arcos de bordes, (tensores de plástico) simplifica en gran medida el montaje. En contraposición, el detalle de unión de la "U" metálica no funcionó debido a que los agujeros de la plancha superior del nudo no coincidieron en un espacio libre para colocar la "U", por lo que se debió sustituir por tensores de plástico.

Sin embargo, la geometría global no fue correcta dado que hubo diferencias apreciables entre las coordenadas encontradas por los modelos simulados, con la que se confeccionó la cubierta, y las encontradas en le prototipo, esto debido a falta de tiempo del doctorando, en su estadía en España que fue imposible de prorrogar, para la ejecución del montaje del prototipo. Sin embargo, se tiene la confianza que en el momento que las coordenadas coincidan la pretensión de la membrana actuará mas eficientemente acercándose al comportamiento expresado en el modelo simulado digitalmente.

Con respecto a la exigencia de desperdicio y reciclaje, comentamos que es necesario hacer un estudio para determinar que ancho del patronaje para disminuir los desperdicios, dado que el actual ancho de un metro irremediamente generara desperdicio ya que las bobinas del fabricante son de 1.80m. Por otra parte, debido a las arrugas en la parte superior de la membrana, ésta presentará, en su uso, problemas de estanqueidad, dado que pueden generarse depósitos de agua que introducirán pesos adicionales a la estructura y disminuirán la vida útil de la membrana. La membrana utilizada contiene aditivos que no propagan la llama ni gotea plástico derretido.

Otro aspecto a comentar es el referido a la reciclabilidad del material, este aunque es posible, sucede igual que las barras PRFV, requiere de procesos de pulverización para lograr separar el plástico de los hilos de nylon y efectuar el reciclaje.

Con respecto a la durabilidad del material según el fabricante (Ferrari) en climas templados la duración suele estar en 20 años y en climas tropicales de 10 años, la vida útil se reduce al 50% debido a la intensidad de los rayos solares.

Con respecto a los aspectos visuales, la membrana por una parte resuelve todo el cerramiento de cobertura y por otra le otorga un buen aspecto al conjunto resaltando la relación peso ligereza en forma positiva.

### CAPITULO 3 DESARROLLO CONSTRUCTIVO: PROTOTIPO Y APLICACIONES

### 3.5.5.- Proceso de montaje.

Aspecto a Evaluar: <b>PROCESO DE MONTAJE</b>			
<b>A Variables Cuantitativas</b>			
A.1	Peso global:	<b>67.33 Kg</b>	
A.2	Área cubierta:	<b>17.95 m2</b>	
A.3	Rendimiento		
	Relación Montaje/Área (*):		
	Nº de horas del montaje	2	(*) Para el calculo rendimiento
	Nº operarios en el montaje	3	
Rendimiento(*)	<b>0.33</b>	O: Nº de operarios	A:Área
			<b>h x O</b> <b>A (m2)</b>
A.4	Relación Montaje/Peso de la pieza	<b>0.08</b>	
	Peso pieza total:	13.68 Kg	



(\*) El tiempo de montaje incluye barras y membrana

(\*\*) Para el cálculo del Rendimiento se utilizó la siguiente ecuación:

Donde:

**h**: Tiempo de montaje en horas

**O**: Nº de operarios

**A**: Área cubierta

$$\frac{h \times O}{A}$$

(\*\*\*) No se consideró el traslado de la grúa dado que no es una variable controlable desde la investigación  
Tabla Nº III-7: Aspecto cuantitativo: Proceso de montaje

Sobre los aspectos cuantitativos hay que destacar que en el proceso de montaje se mueven 307 kilos entre los pesos que hay que colocar en la estructura plana para lograr la deformación global más el peso propio de la estructura (67.33 Kg). Si contamos los medios auxiliares para introducir la preflexión como por ejemplo el andamio que se construyó en PRFV para el ensayo que pesa 48.8 kg, nos da un total de 355,80 Kg.

Otro aspecto importante es el rendimiento expresado entre el número de horas del montaje, el número de operarios y el área cubierta obteniendo un valor de 0.33 el cual incluye la preflexión de las barras y del montaje de la cubierta. Esto nos indica que es un rendimiento muy satisfactorio pero que dependerá del sistema para aplicar la pretensión a la membrana y del sistema para introducir las pre-flexión a las barras. sobre este punto también se puede comentar que el rendimiento está calculado sobre la experiencia que nos proporcionó el prototipo, el cual puede mejorar significativamente en la medida que los operarios hagan esta actividad cotidianamente, lo cual siempre tiende a disminuir pasos y tareas innecesarias

#### B.- Parámetros Cualitativos:

En términos globales el proceso de montaje se llevó a cabo sin que se presentaran roturas en las barras y por la otra que es posible introducir mejoras para optimizarlo.

Lo más importante de destacar dentro del análisis de la evaluación del proceso de montaje es que los sistemas que se seleccionó (andamio y grúa) para introducirles a estructura la pre-flexión, distribuyó los esfuerzos uniformemente en las tres direcciones, lo que se tradujo en que el sistema tridimensional realizó un movimiento homogéneo en todas las barras y nudos, permitiendo que no se presentaran roturas, deformaciones no deseadas, ni colapso de la estructura durante el proceso. Con respecto a la barra que partió durante el proceso

de montaje por andamio, como ya se ha comentado, este sucedió por el contacto directo ente el metal del cabezal del andamio y la barra.

Con respecto a la geometría a pesar que en el proceso de pre-flexión las barras alcanzaron sus alturas y luces correspondientes de acuerdo con los modelos simulados, estas descienden un 9% de la altura teórica debido a dos factores: el primero es que la rigidez de los arcos de los bordes es la misma que la malla, dado que el borde esta compuesto por una barra de igual sección que la malla. El otro factor que pudo influir es que la pieza del anclaje al ser articulada no impide el movimiento de los arcos perimetrales una vez que los nudos están bloqueados.

En cuanto a los desperdicios y reciclaje se pueden comentar que no se produce ningún tipo de desperdicio y en referencia a la energía consumida, ésta depende del sistema para realizar el proceso de pre-flexión. En el caso de utilizar andamio o puntales la energía consumida es cero (0), ya que es sólo se utiliza la tracción humana. En el caso de emplear grúa se utiliza energía fósil, pero como el tiempo de montaje es (proceso de erección 10min) indica que en términos globales el gasto energético no es significativo. Con respecto al trayecto de la grúa esta es una variable que no se puede controlar desde la investigación, por lo que sólo se toma en cuenta la energía utilizada durante el montaje que si es controlable por la investigación.

Sobre el mecanismo para introducir la pre-flexión a las barras hay que considerar dos aspectos, el primero es que tiene que ser capaz de imprimirle a la estructura 1.895 kg de fuerza que son necesarios al inicio del proceso de erección, más el efecto gravedad y el peso propio de la estructura (67.33 Kg), y tiene que ser capaz de repartirlo homogéneamente sobre todas las barras, por lo que el mecanismo tiene que actuar en las tres dimensiones (X,Y,Z), en este sentido los mecanismos unidireccionales de tensión (cintas, tensores, entre otros), si bien es cierto que son más económicos, pueden causar grandes daños a la estructura hasta producir su colapso, con lo cual los costos de montaje podrían verse mas comprometidos.

### 3.5.6.- Estructura global:

Aspecto a Evaluar: <b>ESTRUCTURA GLOBAL</b>					
A Variables Cuantitativas					
A.1Peso global:		<b>67.33 Kg</b>			
A.2Área cubierta:		<b>17.95 m2</b>			
A.3Rendimiento		Relación Peso/Area cubierta: <b>3.75 Kg/m2</b>			
A.4Limitaciones					
		Teórica (m)	Obtenida (m)	Diferencia	%
	Altura max.	3.20	2.90	<b>0.30</b>	<b>9.3</b>
	Luz max.	5.00	5.00	<b>0</b>	<b>0</b>



Tabla N° III-8: Aspecto cuantitativo: Estructura global

De los parámetros cuantitativos se puede comentar que la relación de rendimiento Peso global / área cubierta es de 3.57 Kg/m<sup>2</sup>, lo que significa que obtuvimos una estructura bastante ligera. De las limitaciones se pude comentar que las luces tanto teóricas como las obtenidas en el prototipo son iguales, mientras que en las alturas existe una diferencia de 9,3% entre los modelos.

## B.- Parámetros Cualitativos:

Como consideración importante hay que mencionar que pudimos comprobar experimentalmente los resultados del modelo informático referido a que la malla de barras pre-flectadas contribuye notablemente en la rigidización de la estructura formada por delgadas barras de 32mm de diámetro, convirtiéndolo en un módulo capaz de soportar cargas hasta 100Km/h. Sobre este aspecto hay que decir que ninguno de los refugios que actualmente existen en el mercado es capaz de soportar esta carga.

Sin embargo, la estructura necesita de unos elementos adicionales de rigidización tales como, diagonales en las esquinas, al nivel de piso y membrana de arriostre, sin que se pueda prescindir de estas.

Con respecto a la geometría se puede concluir que la forma resultante es completamente transformable y utilizable, siendo también ampliable al poder combinarse varios módulos en dos direcciones para crecer horizontalmente, convirtiéndose estas características positivas del sistema.

Sobre las variables referidas a los desperdicios y reciclaje, se puede comentar que el módulo es completamente recuperable tanto como estructura, por su capacidad portátil, como por cada uno de sus componentes, además las barras cumplen el criterio de “cero desperdicio”, este criterio tendría que ser ampliado a la membrana. Finalmente se puede comentar que sobre su aspecto visual la proporción de la forma encontrada experimentalmente con las luces que cubre es satisfactoria y puede cumplir perfectamente las funciones de un refugio, sobre este aspecto hablaremos en los siguientes apartados de esta capítulo.

### **Recomendaciones para la optimización del sistema:**

Una vez finalizada la evaluación tanto de los diferentes componentes del sistema como de la estructura en forma global, detectadas las vulnerabilidades y las fortalezas del mismo, es procedente realizar un listado de recomendaciones con el fin de definir unos criterios que puedan conllevar a la optimización de los componentes.

Para ello, se utilizará la misma clasificación y categorías que empleamos en la evaluación, es decir, los mismos elementos funcionales y exigencias.

#### 1.- Recomendaciones al nivel de las barras:

A pesar de que este componente fue el que mejor puntaje obtuvo en la evaluación podemos hacer los siguiente comentarios:

A.- Disminuir la sección de la barra a 30 o 28 mm de diámetro externo con el mismo espesor de 3mm, con el fin de mantener las prestaciones estructurales, pero disminuir la fuerza necesaria para introducir la pre-flexión en las barras. El mismo nudo diseñado en el catálogo puede absorber estas secciones, ya que la abrazadera cuenta con un sistema de tres posiciones.

B.- Adherir, a través de pegamento, en las zonas donde va colocado el nudo una goma anti-resbalante del mismo espesor de la abrazadera, que contribuya a aumentar significativamente el roce entre el nudo y la barra.

## 2 Recomendaciones al nivel de los nudos:

- A.- Mantener el sistema de abrazar de la barra, ya que no debilita la capacidad estructural de ésta.
- B.- Mantener el sistema clip's que permite aligerar el proceso de armado de la malla a la mitad del tiempo, ya que sólo hay que apretar un tornillo por nudo y permite además adaptarse a tres secciones distintas.
- C.- Mantener el forro de goma de la abrazadera, dado que ayuda a aumentar el roce entre la abrazadera y la barra, además de proteger a esta última de cortes transversales por la presión que ejercen las abrazaderas sobre las barras.
- D.- Reforzar los 4 nudos de las esquinas aumentando el espesor de la lámina de la abrazadera por lo menos en 1 mm o emplear una lámina de mayor resistencia manteniendo el espesor actual de la abrazadera, para que estos nudos puedan absorber las solicitaciones por corte que se generan en estos puntos.
- E.- Colocar los dos planchas metálicas de bloqueo con la ranura circular que permita una holgura para colocar la "U" metálica para unir el punto interno de la membrana a la malla de barras pre-flectadas.

## 3 Recomendaciones al nivel de los anclajes:

- A.- Mantener la unión entre la barra de PRFV y el terminal de acero con una barra maciza de plástico, ya que demostró su eficiencia al dar la continuidad estructural deseada.
- B.- Mantener el terminal de barra en acero para otorgar un peso inicial en los extremos de los arcos de borde manteniendo una continuidad en la sección tanto de la barra como del tubo.
- C. Eliminar el sistema telescópico de nivelación, para disminuir la redundancia estructural de la pieza y simplificarla a una sola sección de tubo.
- D. Mantener el sistema articulado de la base, sólo para el proceso de montaje y transformarla en anclaje empotrado rígido posterior el proceso de montaje, a través de colocar un tornillo adicional en la rótula. Esto con la finalidad de disminuir el asentamiento que se produce en la estructura.
- E. Mantener los anclajes superficiales a través de pesos e incluir la posibilidad e estacas para cuando el tipo de suelo así lo requiera (p.e. arena)

## 4 Recomendaciones al nivel de la membrana:

- A Realizar su confección tomando en cuenta las coordenadas de la geometría final del modulo a escala 1:1 y no de las coordenadas simuladas.
- B. Mantener el sistema de unión entre las barras de la malla y la membrana con cintas plásticas tipo "Tirrak", dado que facilita el proceso de montaje y la introducción de la pretensión de la membrana.
- C.- Desarrollar el detalle para completar la cubierta en su parte central, manteniendo la posibilidad de que el aire caliente salga por la parte superior y evitando que entre el agua de lluvia.
- D.- Desarrollar los patrones siguiendo los paralelos (horizontal) y no los meridianos como se hizo, dado que se ha demostrado que para cubiertas pequeñas la configuración en meridiano genera errores en la compensación de los patrones, por lo cual es de esperar que aunque se tense siempre aparecerán arrugas. Esto es debido a que en las cubiertas pequeñas las tolerancias son muy reducidas y las configuraciones de los paños en forma vertical o siguiendo los meridianos requieren de mayor longitud y tolerancias.

## 5 Recomendaciones al nivel del proceso de montaje:

- A. Mantener un sistema tridimensional de introducir la pre-flexión a la malla para que el movimiento sea homogéneo e uniforme
- B. En caso de utilizar andamios o puntales, se hace necesario desarrollar una pieza especial de unión tipo abrazadera lo suficientemente flexible como para que no deje mover los puntos centrales de la malla pero que permita que los puntos tomen la curvatura necesaria, sin que se produzcan cortes transversales en las barras, tal y como ocurrió en las primeras pruebas del montaje del prototipo.
- C. En caso de utilizar grúa, es necesario que el amarre de las cintas donde cuelga la malla sea cruzada y agarre los nudos centrales de la malla, sin que estos se deformen o aplasten.
- D. No es recomendable elementos unidireccionales para introducir la pre-flexión a las barras (cintas, tensores, entre otros), dado que generan distorsiones e introducen esfuerzos desbalanceados, lo que puede causar el colapso de la estructura.

## 6 Recomendaciones al nivel del modulo estructural global:

- A.- Mantener la idea de una estructura de mallas pre-flectadas y una membrana pre-tensada para que se aporten sus prestaciones y obtener una cubierta ligera y resistente
- B. Mantener las dimensiones globales obtenidas.
- C. Mantener las diagonales al nivel de suelo como sistema de seguridad del arriostre o un piso de tela que las sustituya conectado a los anclajes
- D.- Con respecto al transporte se pueden recomendar varias opciones, una es transportar todo el conjunto plegado, aquí la dificultad está en el largo del modulo plegado, que puede ser solucionado con un transporte acorde a la longitud del modulo plegado (12 m), otra solución es partir la estructura en cuatro partes (cada cuadrante) y unirla a través de una barra plástica maciza tipo machihembrado, esta solución ya se comprobó que funciona muy bien en el anclaje, de esta manera se transporta cada cuadrante plegado por separado con una longitud de 6m, esto introduce en el montaje un proceso de ensamblado que habría que evaluar su conveniencia.

A continuación se presenta como una propuesta de re-diseño de piezas y componentes en aquellos puntos sensibles de la estructura tales como, base de anclaje, punto intermedio para colgar la membrana. El objetivo fue desarrollar mejoras al módulo, producto del resultado de la evaluación. También se presenta una propuesta de cumbrera, así como también el desarrollo de otros componentes tales como, fachadas laterales, piso textil y sobre-cubierta del punto alto, para lo cual se continuó el formato y codificación del catalogo de componentes y detalles del prototipo.