



## Diseño de Estructuras Transformables para Espacios en Situación de Emergencia.

Carlos Cesar Morales Guzman\*, Calixto Martinez Cruz<sup>a</sup>, Hector Rivera Torres<sup>b</sup>,

\*Universidad Veracruzana  
Facultad de Arquitectura, Region Poza Rica-Tuxpan.  
carlmorales@uv.mx

<sup>a</sup> Universidad Veracruzana

<sup>b</sup> Universidad Veracruzana

### Resumen

La siguiente investigación se desarrolló por medio del estudio de las estructuras transformables, los parámetros de diseño desempeñaron un factor importante en la creación del prototipo de cubierta plegables, este se gestó con materiales ligeros como el aluminio estructural y una membrana textil Serge Ferrari, con ello se ejecutaron propuestas de diseño experimental para generar varias pruebas de diseño que ayudaron a resolver espacios de emergentes, el cual se imprimieron en 3D, dichas piezas de conexión se mandaron a manufacturar en materiales más resistentes como el acero inoxidable y acero al carbón, esto para verificar la seguridad de las conexiones y consecuentemente desarrollar los detalles constructivos de sus uniones. Este diseño de estructura transformable se aplicara para espacios emergentes de la Cruz Roja Mexicana, ya que dicha institución carece de equipo e infraestructura para lugares de difícil acceso en situaciones de catástrofes naturales, la falta de dicho espacios hace difícil atender situaciones de emergencia y depender de que el gobierno o los ayuntamiento les destinen recintos que no son aptos para atender primeros auxilios, y que llevan tiempo de asignar, en base a esto se generó dicha propuesta arquitectónica, generada con la alternativa tecnológica de una estructura plegable y ligera que ayudara a obtener espacios más rápidos para esta situaciones de emergencia que tiene la Cruz Roja Mexicana.

Por último la investigación está en una de las primeras fases de desarrollo, el cual nos da la oportunidad de poder atender y resolver algunos detalles de diseño, que puedan eficientar la movilidad y transportación de dicho elementos, cabe mencionar que el prototipo se generó en base a la normas de diseño de la SHELTER, el cual es una empresa que da ayuda humanitaria a nivel mundial y por el cual es un parámetro importante a mejorar para que el prototipo tengo una buena respuesta nacionalmente y posteriormente a nivel internacional.

**Palabras Clave:** Espacios de Emergencia, Detalles Constructivos, Estructura Experimental.

### Abstract

The following research was developed through the study of transformable structures, the design parameters played an important factor in the creation of the folding roof prototype, this was developed with light materials such as structural aluminum and a textile membrane Serge Ferrari, with it Experimental design proposals were executed to generate several design tests that helped to solve emerging spaces, which were printed in 3D, these connection pieces were sent to be manufactured in more resistant materials such as stainless steel and carbon steel. verify the safety of the connections

and consequently develop the constructive details of their connections. This transformable structure design will be applied to emergent spaces of the Mexican Red Cross, since this institution lacks equipment and infrastructure for places of difficult access in situations of natural catastrophes, the lack of such spaces makes it difficult to attend emergency situations and depend on that the government or the city councils destine them recipes that are not apt to take care of first aid, and that take time to assign, on the basis of this generated this architectural proposal, generated with the technological alternative of a folding and light structure that will help to obtain faster spaces for this emergency situations that the Mexican Red Cross has.

Finally the research is in one of the first phases of development, which gives us the opportunity to attend and solve some design details, which can make the mobility and transportation of these elements more efficient, it is worth mentioning that the prototype was generated on the basis of to the design standards of the SHELTER, which is a company that provides humanitarian aid worldwide and for which it is an important parameter to improve so that the prototype has a good response nationally and subsequently internationally.

**Key words:** Emergency Spaces, Constructive Details, Experimental Structure.

## 1. Introducción

En la siguiente investigación se publica parcialmente el desarrollo de una estructura plegable para en casos de siniestros, por ello es relevante que podrá haber una segunda parte de dicho desarrollo metodológico y técnico del proyecto. En la arquitectura actual hay una gran variedad de desarrollos tecnológicos industriales, que aportan una diversidad de sistemas estructurales que pueden concebir un espacio arquitectónico, que se requiera transformar de lo habitual a las nuevas necesidades del usuario para proporcionar una mejor calidad de vida.

En el presente la edificación tiende a ser más esbelta y de fácil evolución. Lo que implica el diseño de un sistema estructural más ligero y de rápida transformabilidad, para conseguir esto, es necesario contar con un mapa de guía, que se usará como patrón y obtener las adecuaciones que pueden tener este tipo de estructuras.

La innovación en este tipo de sistemas estructurales implica la elaboración de diseños para perfeccionar las uniones, ya que el detalle de unión es crucial para la construcción de estos sistemas estructurales transformables. En dichos puntos se analiza de manera precisa la distribución de los esfuerzos que actúan sobre ellas, para evitar los movimientos desfavorables a la hora de izamiento, con esto se consigue una mayor eficiencia en el desplegado de sus partes y por añadidura.

Para lograr la adecuación de la forma con mayor exactitud y obtener el llamado Form Finding se apoya en la geometrización de los puntos de unión de la estructura. Existen otros métodos para proyectar este tipo de geometrías como: de densidades de fuerza, el método de relajación, etc., los cuales ayudan a encontrar la forma adecuada pero no con la característica de retraerse, por lo tanto se hará uso de dos métodos, el

método matricial por modelación matemática y el método geométrico descriptivo, que por medio de la matemática básica de modulación consigue la conformación de sus dimensiones.

El principal logro de esta investigación se basa en el manejo de un sistema de fácil transformación y construcción, que ayuda a crear una estructura más eficiente y con mejores grados constructivos, comparados con el uso de otros sistemas. Es por ello que se elaboraron tablas comparativas y se usaron modelos físicos, para entender el concepto estructural del proyecto, con el objetivo de crear un sistema de estructura plegable.

Para tener una idea de cómo diseñar este tipo de estructuras se consideran una serie de recomendaciones de los expertos en la materia (figura 1), en la que podemos observar que el Dr. H. Berger, provee una serie de parámetros para encontrar de manera puntual, el diseño de una estructura ligera, ésta tabla servirá como referencia para elaborar el mapa conceptual en la construcción del sistema y para elaborar la metodología de investigación en la búsqueda de un sistema plegable tensado.

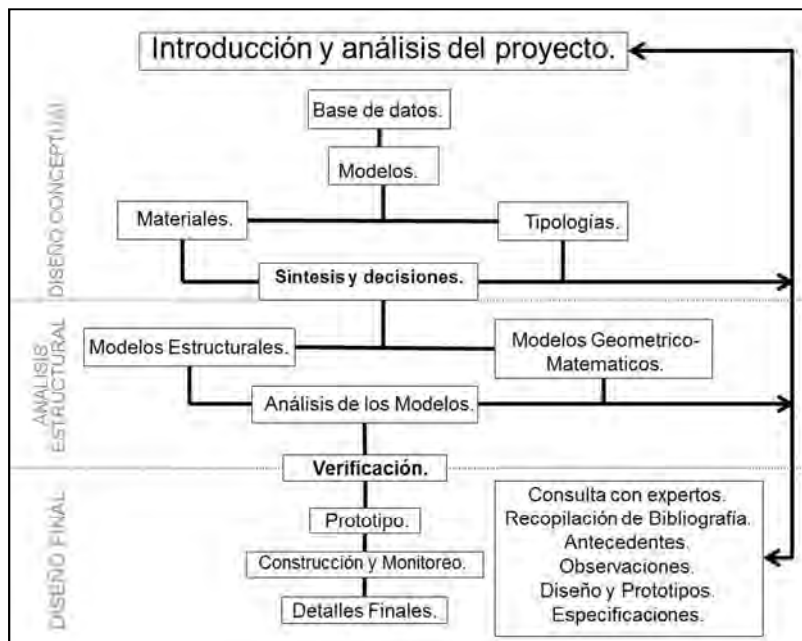


Figura 1. Desarrollo del esquema conceptual de procedimiento de diseño de un sistema retráctil tensado, basado en el esquema del Dr. H. Berger, Fuente: Light Structures, Berger. (Morales, 2013)

## 2. Antecedentes

Para poder describir el procedimiento constructivo en teoría y desarrollar una esquema practico para llevar a la realidad el izaje de la cubierta plegable, se buscan referencias constructivas de sistemas transformables realizadas en el mundo. Para

contemplar que estrategia abordar en la construcción de la cubierta plegable, se presentaran varios proyectos que tiene ciertas similitudes en al tema de investigación desarrollado.

El procedimiento del despliegue de la estructura es una de las etapas más importantes de la construcción de la estructura plegable, por lo que se realiza la siguiente explicación bajo el referente de un módulo experimental que desarrollo el GRUPO ESTRAN, del Dr. Carlos Hernández de Venezuela, donde el sistema se desarrolló por medio de la simplificación constructiva de uniones como la que se desarrolló en este prototipo (figuras 2, 3).



Figura 2, 3. En las siguientes imágenes se observan como transportar una estructura transformable en un sitio, aunque es una estructura pequeña el concepto de su transportación debe tener la misma facilidad que está cubierta. Fuente: [www.grupoestran.com](http://www.grupoestran.com), 2015

La transportación es vital, ya que la cubierta debe estar empaquetada y plegada para poder ser transportadas en un vehículo, otro aditamento constructivo es colocar una placa en los nodos donde se sostendrá el amarre de la grúa (figuras 4 a la 9), serán 9 nodos de soporte en donde se agarra el nodo en la grúa, este se alzara y bajara las aspa por gravedad, con guías de soga se desplegaran las aspa de manera más segura, y así se despliegue por completo.

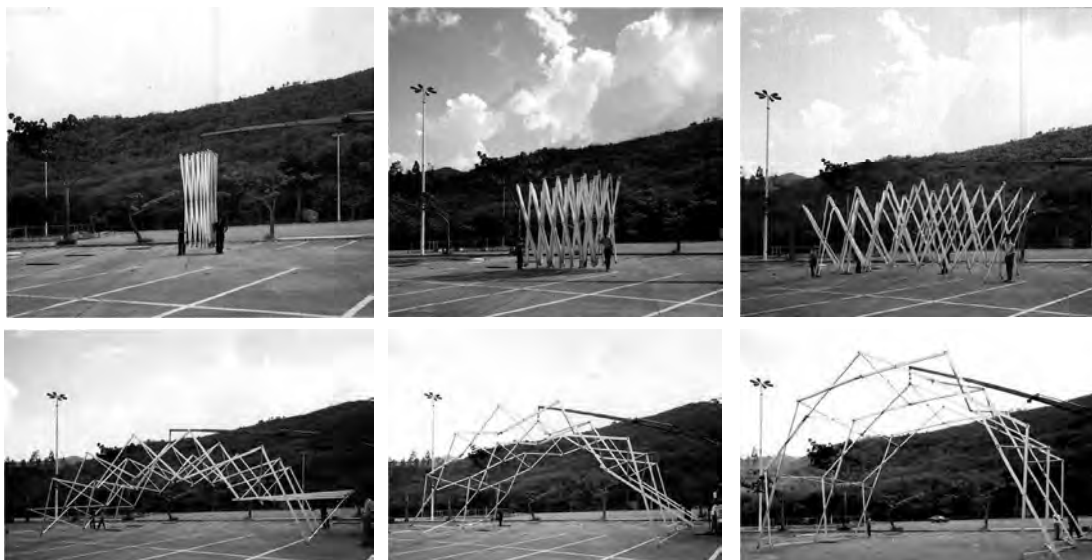


Figura 4 a la 9. Esquema de Izaje de una estructura plegable, podemos observar cómo será el proceso constructivos de nuestra estructura ya armada con todas las conexiones y accesorios, al igual que este sistema se alzara con una grúa. Fuente: [www.grupoestran.com](http://www.grupoestran.com), 2015



Por último, este proceso constructivo se tiene que respaldar con un izaje de pre montaje, para verificar la resistencia del nodo cuando se despliegue, esto debe resistir 9.9 toneladas entre los 9 nodos que resistirán el peso total de la estructura, sabemos por el cálculo anterior que puede llegar a resistir más de 16 toneladas, con este parámetro se puede tener en cuenta que la grúa es un buen método de desplegado para la cubierta.

Un ejemplo muy útil que tomamos como referente constructivo de montaje es el desarrollo del despliegue de la estructura experimental de la obra de la cubierta del poli-deportivo de San Pablo en Sevilla, España, realizadas por el Dr. Félix Escrig Pallares y el Dr. José Sánchez Sánchez, la realización de esta estructura se llevó a cabo desde sus inicios por medio de modelados (maquetas), que sirvieron para desarrollar las configuración del sistemas plegable de cubierta. Uno de los primeros análisis que se observan en el montaje de la cubierta se ve reflejado en la manera de transportar el sistema estructural al sitio (figuras 10, 11).



Figura 10, 11. Esquema de carga de la cubierta plegable al camión, es importante comentar que la facilidad de transportación del sistema ayuda a mejora la velocidad de construcción de la cubierta en el sitio. Fuente: Escrig & Sánchez, 1999.

Se observa que la estructura es un empaquetado plegado que se amarra para que no se abra y se coloca en un camión para poder ser transportado, ya en el sitio se coloca sujeta en una grúa en ocho puntos de la cubierta y se despliega en el suelo rasante para chequear si la membrana o la estructura en esta en buen estado (Figuras 12, 13).



Figura 12, 13. Esquema de Izaje de una estructura plegable, podemos observar cómo será el proceso constructivos de nuestra estructura ya armada con todas las conexiones y accesorios, al igual que este sistema se alzara con una grúa. Fuente: Escrig & Sánchez, 1999.

Posteriormente se despliega la estructura con la grúa, y se fijan las uniones inferiores a sus soportes para contener los miembros estructurales, después se conecta la membrana en sus esquinas y se arriostran los vanos con un contra venteo tubular para mantener rígida la cubierta (14 a la 16), en conciencia esta forma de ejecutar un despliegue de estructura es la más óptima para desarrollar en nuestra propuesta final de investigación.

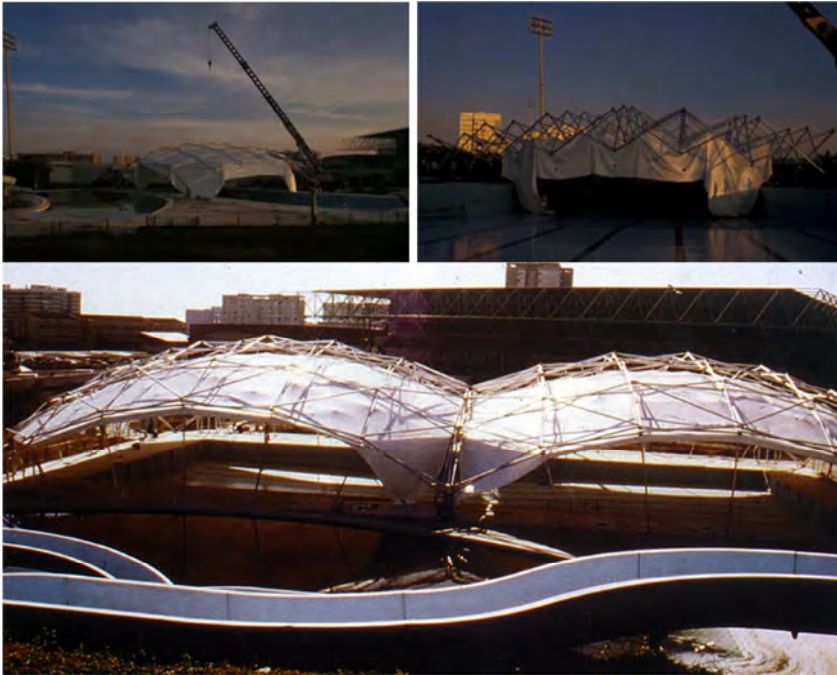


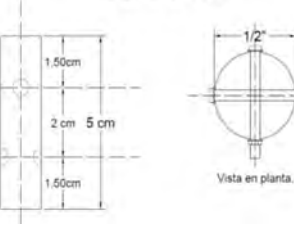



Figura 14-16. Una vez situada en la posición del desplegado, posteriormente es fácil de desplegar la estructura con su membrana y colocarla en su sitio por medio de una grúa conectada en ocho puntos para anclarse a los soportes. Fuente: Escrig & Sánchez, 1999.

### 3. Procedimiento Constructivo

A continuación se formará un nuevo modelo mejorado y ajustado a la nueva geometría plegable de la cubierta, para este caso se realizará un empaquetado plegable de toda la cubierta, para que solo sean dos tipos de nodos, el que se realice y se estandarice constructivamente en una propuesta final, teniendo en cuenta los modelos de unión de cada parte de la estructura. En base a este modelo, se resolverá la estructura plegable. Para ello, se trabajó con el diseño de los nodos, sistema de sujeción con tubo galvanizado que es fácil de manufacturar y realizar los cortes para dicho prototipo experimental.

Para el desarrollo de la cubierta plegable se realizaría a escala (1:4) con material a base de acero galvanizado. Posteriormente, se realiza la construcción de la cubierta plegable que se describirá en el siguiente cuadro (tabla.-1), donde se proporciona la función y el material con que se realizaron, cada elemento que compone la cubierta transformable tiene la función de estabilizar el sistema plegable de la estructura.

ELEMENTO.		DESCRIPCION.
<p><b>Nodo 1</b></p> 		<p><b>Función:</b> Une los contravientos y las tijeras. Permite expandir la estructura rotando en su propio eje.</p> <p><b>Material:</b> Tubo conduit galvanizado tipo ligero pared delgada 16 (1/2), Tornillos, rondanas para tornillos de 10 mm. y tuercas de 10 mm.</p>
<p><b>Nodo 2</b></p> 		<p><b>Función:</b> Une los dos tipos de tijeras, y tiene dirección cruzada a 45° y se ubica en la parte inferior de la estructura.</p> <p><b>Material:</b> Tubo conduit galvanizado tipo ligero pared delgada 16 (1/2), Tornillos, rondanas para tornillos de 10 mm. y tuercas de 10 mm.</p>

**Tabla.- 1.** Se desarrolló la siguiente tabla para describir la función y el material con que se elaboró el modelo experimental final de la investigación, donde se unifico la plegabilidad de todo el sistema transformable. Fuente: Morales 2015.

El siguiente paso es el armado del modelo, este se desarrolló bajo las especificaciones y descripciones de la tabla 15, con estas contemplaciones se realizó el modelo de la cubierta plegable (figuras 17, 18).



*Figuras 17, 18.* Una vez construido el paquete de aspas, se realizara el despliegado de la estructura en el sitio para comprobar sus despliegado y plegado de la cubierta transformable. Fuente: Morales 2015.

Una vez conectadas las piezas de la cubierta plegable se sometieron a las pruebas de alzado, con ello se verifican los inconvenientes del modelo, el primer paso es el



desplegado y el plegado de dicha cubierta, ya que tiene problemas estructurales por los esfuerzos que se llegan a suscitar a la hora del alzado (figuras 19 a la 24).

En esta etapa se desarrollan fuerzas dinámicas, al realizar el despliegado se ejecuta por medio de un jalón, este desarrolla esfuerzos en las aspas de la base de la estructura, por ello se tendrá que hacer con mucho cuidado el despliegue. Una de las principales características del modelo después del despliegue es que se equilibrara por su geometría, para llegar a esto, se contempla que la estructura debe estar correctamente transformada, ya que los arrojamiento o contra venteos, ayudan a rigidizar la cubierta si está completamente erguida, así la direccionan de los esfuerzos llegan a hacia las bases del sistema plegable formando una cúpula circular unidireccional de la cubierta plegable.

Otro factor que se tiene que tomar en cuenta es que el sitio debe de estar nivelado ya que para este modelo no se realizaron los basamentos de nivelación que ayudan a adaptarse la cubierta al terreno. En este ejemplo se nota que en diferentes escalas a partir de 1:4, la cubierta puede llegar a tener diferentes utilidades aunque este analizada para claros más grandes, ya que su facilidad constructiva le ayuda a que se muy fácil de instalarla si se tiene contemplado el claro que el usuario quiera cubrir, ya que de ello depende el uso de herramienta que se vaya a utilizar en cada caso.

Por último esta práctica de modelaje constructivo aproximado y de corrección para un modelo final de la investigación sirvió para comprobar que tipo de unión se puede desarrollar y ser más simplificada, también como sería la ejecución constructiva en un sitio controlado y nivelado. En consecuencia esta práctica fue detectar como se iba a desarrollar las deformaciones no controladas en la estructura a la hora de hacer el alzado, ya que se comprobó que las aspas de las bases en especial solo las de los extremos de cada esquina, se deformaban un poco a la hora de conectar la base de las aspa a nivel del suelo, por ello se optara aumentar un poco el perfil en esas partes, para concluir se demostró que la geometría unificada tanto de la nave circular como las geodésicas plegables se pueden desplegar en una sola estructura sin tener que realizar dos alzados, esto definió que la cubierta es viable para ser ejecutada en construcción con un solo paquete.





Figuras 19-24. El proceso de alzado ayuda a determinar cómo se comportaría el modelo en la construcción y como serían sus deformaciones en algunas partes de la cubierta, también se comprobó que se puede unificar el sistema transformable, ya que anteriormente está separada por la cubierta plegable y la geodésica como dos sistemas independientes, con esta práctica determinamos que pueden estar unidas. Fuente: Morales 2015.

#### 4. Conclusión

Para concluir parcialmente con esta investigación el resultado serían los detalles estructurales de las uniones del modelo final, estas piezas se realizaran nuevas pruebas de ajuste y resistencia para verificar la cargas y acciones que soportara cada unión pieza, es por eso que es importante saber el esfuerzo interno sobre las pieza de contacto, de igual manera se tiene que estudiar más el detalle de las conexiones articuladas en sus uniones, ya que puede llegar a fallar por plasticidad debido a las placas que no están excéntrica al eje, con ello se determinar un estudio más minucioso de los detalles constructivos a futuros y así el prototipo final de la cubierta retráctil pueda ser más viable para su construcción, gracias al cálculo con el programa WinTess encontramos los esfuerzos por segundo orden que son los que no marca las pautas de mejorar el nodo, debido a que no es excéntrica la geometría varia un poco la localización de sus puntos, es importante resaltar que el programa ayudo

mucho, ya que este toma en cuenta la velaría en la estructura y como puede llegar a interactuar, el inconveniente es que no hace las combinaciones de cargas adecuadas, el usuario tiene que manipular el programa, para adaptarle la combinación más perjudicial que en otros programas de segundo orden ya se implementan como CYPECAD o STAAD PRO o cualquier otro programa de calculo que resuelva sistemas de segundo orden, es por eso que el programa WinTess tiene que ser apoyado por otro que haga las combinaciones más solicitadas y posterior a ello colocar la que nos dio mayor problema en el sistema. Es importante mencionar que gracias a los programas de la actualidad y los ordenadores potente que hay, se ha podido hacer esta traslación física simulada, anteriormente era casi un empirismo realizar el cálculo de las estructuras transformables y solo se basaban en hipótesis simples para poder efectuar la manufacturación de estos sistemas.

#### Ventajas:

Por esto ahora nos toca comentar la ventaja final de este sistema propuesto, uno de los factores más favorables de este sistema es que es fácil de construir y se puede transportar de igual manera a otros lugares, y montar fácilmente la estructura en pocas horas, también su esbeltez y peso ligero lo hace menos pesado que otros sistemas, aunque en este se ha elaborado con acero, lo ideal sería que se fabricara con aluminio estructural y así poder reducir más el peso generado por el acero y con ello hacer más fácil la maniobra constructiva de la estructura.

#### Desventajas:

El problema de este tipo de sistemas es el costo como no son muy comunes su manufacturación en costo de realización es un muy elevado y es por ello que se tiene que realizar las conexiones lo más simple posible, para no encarecer la manufactura de dichos sistemas transformables.

Por ultimo esta investigación no está del todo terminada hace falta el detallado constructivo minucioso que lograra mejores conexiones, cuando se haya subsanado los problemas presentados en la modelación del prototipo, como las excentricidades de las conexiones, el contemplar la geodésica rebajada que le da la apariencia final del sistema de cubierta retráctil tensada, se podrá dar por terminada la investigación.

#### Citas:

- [1] Banco, A. (2007). Arquitectura Textil, Transformación del Espacio, 1ª, Ed: Editorial Poseidón.
- [2] Becker, J., Kuschnir, E., (1995). Tipologías Estructurales: La Desmaterialización de las Estructuras de Grandes Luces, 2a Ed: Editorial Universidad Pontificia Chile, Medellín.
- [3] Berger, H. (1996). "Light Structures, Structures of light, the art of tensile Architecture." 1a Edition. Suiza: Basel.
- [4] Broto, C. (2006). Cubiertas, Innovación y Diseño. 1ª, Ed.: Editorial Links.

- [5] Chilton, J. (2000). "Space Grid Structures", 1a Ed, Editorial Architectural Press, Oxford, Boston, USA.
- [6] Engel, H. (2006). Sistema de Estructuras. 4a Ed.; México. Editorial Gustavo Gili, S.A.
- [7] Escofet, J., Millán, M. S., Ralló, M. (2001). Modeling of woven fabric structures based on Fourier image analysis. 1a, Ed, Editorial Applied Optics.
- [8] Escrig, F. (1997). Star: Structural Architecture. 1ª, Ed, Editorial, Universidad de Sevilla.
- [9] Fuller, M. (2000): Compresión de las Estructuras en la Arquitectura. 1a Ed.: Editorial interamericana Mcgraw-Hill.
- [10] Morales, C. C. (2012). Diseño de Cubiertas Ligeras Tensadas. Estancia Post Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya.
- [11] Sánchez, F. (1992). Estructuras Ligeras para Grandes Luces. 1ª, Ed: Editorial Fundacion Emilio Pérez Piñero.
- [12] Torres, L., Franco, R. (2006). Estructuras Adaptables. 1a Ed: Editorial Universidad Nacional de Colombia.