

# Introducción

Las estructuras textiles comprenden diferentes tipologías, no obstante la más común es la carpa. Las carpas son una solución estructural muy antigua que combina la ligereza y la facilidad de despliegue, con la labor de protección frente a las inclemencias climáticas (lluvia, viento, etc.). Su facilidad de montaje y desmontaje hacen de este elemento estructural una solución óptima como habitáculo de grupos nómadas. Los ejemplos paradigmáticos se encuentran en el mundo del circo y en los beduinos del desierto. Las carpas también han sido ampliamente utilizadas en el ámbito militar y en misiones humanitarias.

Hoy en día, la arquitectura textil se ha extendido en nuestras sociedades (cubiertas de grandes luces, sobre todo) y mucho menos, en ingeniería civil (presas inflables de poca altura, por ejemplo). Las carpas son una tipología común en proyectos arquitectónicos de diferente uso. Desde proyectos temporales, donde el montaje y desmontaje sea un valor añadido hasta el cubrimiento de grandes luces en espacios de lúdicos, turísticos o de ocio. En los países de la cuenca mediterránea la carpa suele tener un claro carácter estacional y lúdico, donde aparece asociada al turismo en los períodos del verano. Otro tipo de membranas textiles que presentan un nuevo rango de aplicaciones aparecen en la exploración del espacio.

Las estructuras textiles constan principalmente de tres elementos estructurales, una membrana textil que cubre los espacios, unos mástiles de acero que dan altura a la membrana y unos cables tensores de acero que curvan la superficie de la membrana. Por ello, las carpas son estructuras tesadas de carácter bidimensional tipo membrana. Se entiende por estructuras tesadas aquellas cuyos elementos estructurales principales trabajan básicamente a tracción.

Normalmente las carpas se pretensan antes de entrar en servicio, para que adquieran suficiente rigidez. Las membranas abiertas requieren de elementos externos que equilibren las tracciones y las transmitan al terreno. Las membranas cerradas tipo inflable suelen aprovechar el efecto neumático para adquirir la rigidez (equilibrio de tracciones por la continuidad de la estructura y la presión interna de un fluido que pretensa).

En el caso de las estructuras textiles, la membrana soporta únicamente tracciones, ya que compresiones o esfuerzos de corte en su plano conducirían a la aparición de arrugas. En esto se diferencian de las membranas rígidas construidas con materiales como el hormigón o el acero que pueden soportar flexo-compresión. Los tensores de acero que se emplean para tesar la estructura también están sometidos a tracciones importantes. Finalmente, los mástiles de acero suelen trabajar en compresión. Estas características estructurales de las estructuras textiles les dotan de una gran singularidad para el cálculo y la evaluación de los esfuerzos y su posterior dimensionamiento.

Una de las ventajas estructurales de esta tipología es que el material textil de la membrana está aprovechado al máximo, ya que no aparecen fenómenos de pandeo ni estados de tensiones de transición entre tensión-compresión. Por ello, la arquitectura de estos diseños puede gozar de piezas muy esbeltas, de pequeño espesor y gran superficie.

Esta gran esbeltez conlleva que las estructuras presenten una gran deformabilidad en servicio. Este inconveniente se presenta frente a las cargas de viento, nieve o durante la fase de construcción. Por ello, los desplazamientos se miden en cm. en lugar de mm. como en las estructuras de tipo rígido. No obstante, la gran flexibilidad de las carpas no es inconveniente desde el punto de vista del usuario pero para el análisis representa una complejidad añadida. Las grandes deformaciones hacen que la suposición de equilibrio conjunto de los elementos no se pueda establecer en la configuración inicial, ya que la posición final es muy diferente de la original. Por ello, se deben plantear estrategias iterativas y análisis de segundo orden que conducen a sistemas altamente no lineales de ecuaciones.

Otra característica importante de las carpas se presenta en su respeto por el medio ambiente. Las carpas conducen a espacios cubiertos que protegen del sol, pero al mismo tiempo son abiertos, facilitando la circulación del aire y produciendo un efecto de clima templado de forma natural. Esto conlleva un considerable ahorro energético con respecto a las estructuras cerradas en edificación tradicional que requieren de sistemas de refrigeración artificial.

Otro de los puntos importantes de la tecnología de las carpas textiles se encuentra en los 'detalles' constructivos. Las uniones entre el material textil y los tensores, los mosquetones y piezas de anclaje, mástiles, los apoyos y en definitiva todos los puntos donde se puede dar una singularidad tensional son objeto de especial cuidado. Los requerimientos de formas, flexibilidad, capacidad portante y durabilidad pueden afectar seriamente el comportamiento de la estructura textil. Todos estos elementos

constructivos deben facilitar la recogida de los esfuerzos que circulan en la membrana y transmitirlos de forma adecuada al terreno.

# Objetivos del proyecto

En el caso límite de una membrana originalmente plana no se podría establecer el equilibrio entre las cargas normales a la superficie y los esfuerzos de membrana contenidos en el plano de la superficie. Es gracias a la curvatura que adquiere con la deformación que se produce el equilibrio entre ambas fuerzas, por lo tanto, la configuración de equilibrio no puede exigirse en la configuración inicial (primer orden) sino en segundo orden mediante un sistema no lineal. Las curvaturas en el espacio se obtienen con la combinación de los cables tensores y los mástiles. La superficie de la membrana se ve solicitada por un sistema de fuerzas tensoras que la pretensan. Por consiguiente, en la confección de la estructura, la geometría original está solicitada por un estado de pretensado que define la forma de la membrana. De la necesidad de conocer ese estado de pretensado de la estructura en la geometría inicial (etapa de montaje), surge el objetivo de este proyecto.

Por lo tanto el objetivo general de este proyecto, es el desarrollo de una metodología para la medición de tensiones en estructuras reales, tanto para poder conocer las sollicitaciones que soporta la estructura durante su montaje y pretensado, así como también para conocer la magnitud del pretensado resultante.

Para ello se fijaron los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una calibración de los elementos de medida, acelerómetros y galgas extensométricas, mediante el ensayo a tracción de una muestra textil.  
Tomando los valores de nuestras mediciones y la carga de la máquina universal empleada, encontrar una relación entre ambas magnitudes. Con las galgas tensión-deformación y con los acelerómetros tensión-velocidad de una propagación de un onda producida sobre la muestra.
- Diseño de una estructura real a ensayar en el laboratorio, modelando la misma con el programa Memtex, de los resultados obtenidos con la simulación realizar estimación de los valores que se deberían obtener con el sistema de medida
- Realización del cálculo de un caso real para ejemplificar como se llevaría a cabo el empleo del sistema en una construcción.