



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estructuras neumáticas

Apellidos, nombre	Basset Salom, Luisa (lbasset@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universitat Politècnica de València



1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presentan las estructuras neumáticas, describiendo su comportamiento estructural, los materiales de las membranas y los tipos.

2 Introducción

Las estructuras neumáticas son membranas flexibles pretensadas a base de aire a presión, rigidizadas, en ocasiones, por cables que, frente a la acción de las cargas exteriores, desarrollan esfuerzos de tracción, por lo que constituyen una estructura muy ligera.

Un ejemplo muy claro y aparente de estructura neumática en la naturaleza son las pompas de jabón. Suelen ser de forma esférica, tanto las que están flotando como las que están sobre un plano, ya que la membrana esférica representa la superficie mínima bajo la acción de la presión radial, debido no sólo a que las tensiones y la curvatura son constantes en cualquier punto sino a que la esfera es la superficie mínima para un cierto volumen dado. Pueden combinarse formando grupos y, en definitiva, formas más complejas. Del estudio de las mismas se puede llegar a describir el comportamiento de las estructuras neumáticas.

3 Objetivos

EL alumno, tras la lectura de este documento, será capaz de identificar las estructuras neumáticas, describir su comportamiento, los materiales de las membranas, así como proponer ejemplos reales de edificios con esta tipología estructural.

4 Estructuras neumáticas

4.1 Antecedentes

Las estructuras neumáticas son bastante recientes. En 1917, Sir Frederic Lanchester estableció la primera patente de construcción neumática en Europa, mientras que, en los Estados Unidos, empezó a desarrollarse en 1946, de la mano de Walter Bird, que elaboró un prototipo de cúpula de radar.

Posteriormente, el Pabellón de U.S.A. de la Exposición de 1970 de Osaka, diseñado por Davis, Brody, Chermayeff, Geismar, De Harak y Geiger, junto con otras estructuras neumáticas presentes en la muestra significaron la confirmación de sus posibilidades formales y de gran escala. Actualmente, la cubierta neumática del Estadio de Pontiac (1975), con capacidad para 80638 asientos, es de las mayores estructuras de este tipo.



Los primeros ejemplos de estructuras neumáticas en España son el Elipsoide en la ETSAM de Madrid (1969) y la Ciudad Instantánea de Ibiza (1971) de José Miguel de Prada (imagen 1)

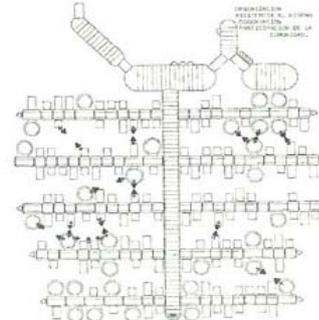


Imagen 1. Ciudad instantánea de Ibiza

4.2 Materiales utilizados en las membranas

El tipo de tejido utilizado depende de la escala de la estructura.

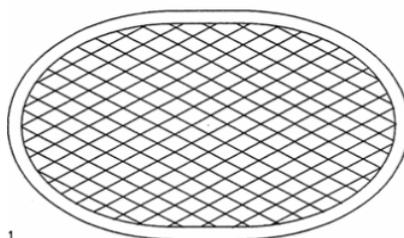
Para estructuras de pequeña escala se utilizan lonas naturales o sintéticas pintadas o revestidas, cuya vida media oscila entre 5 y 10 años. Tanto el algodón como los tejidos sintéticos tienen un peso y una resistencia similares, mientras que el plástico pesa mucho menos y también resiste menos. Para aumentar la resistencia y la impermeabilidad del algodón se suele revestir con vinilo.

Para estructuras a gran escala se utilizan membranas más fuertes y gruesas como, por ejemplo, nylon, poliéster o fibra de vidrio protegidos con vinilo o teflón.

El poliéster reforzado con PVC no se estira tanto como el nylon reforzado con vinilo, pero es mucho más fuerte y más duradero, ya que puede mantener su resistencia de 10 a 15 años frente a los 5 a 7 del nylon.

En el caso de estructuras permanentes como estadios, la fibra de vidrio revestida con teflón proporciona mayor rigidez, menor deformabilidad, además de ser incombustible y autolimpiable y tener una vida mínima de 20 años. El teflón refleja aproximadamente el 75% del calor del sol y, como es traslúcido, disminuye la necesidad de luz artificial, aunque en invierno, se produce una gran pérdida de calor.

A medida que va aumentando la escala de la estructura el tejido va estando sometido a tensiones mayores llegando a un punto en que debe reforzarse con un sistema de cables al que transfiere estas fuerzas (imagen 2).



1

Imagen 2. Esquema del sistema de cables del Pabellón EEUU Expo, Osaka (Shierle)



Las uniones entre cables y membranas, igual que en el caso de las tensoestructuras, deben ser lo suficientemente flexibles como para admitir las grandes deformaciones que se producen en las redes de cables (imagen 3).

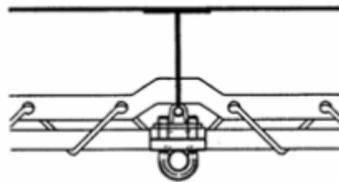


Imagen 3. Unión membrana-cable Pabellón EEUU Expo, Osaka (Shierle)

4.3 Comportamiento estructural

Las estructuras neumáticas pueden resolver la cubierta de superficies muy grandes sin apoyos intermedios, proporcionando, asimismo, la posibilidad de montar, desmontar y transportar la estructura con facilidad. La presión diferencial de aire proporciona, además, una circulación continua de aire fresco y regula las temperaturas de confort necesarias para cada condición.

Incorporan al sistema estructural una acción sobre el sistema de cargas, provocada por la presión a la que se somete el aire confinado dentro del espacio o dentro de los elementos estructurales. Responden a la acción de las cargas generando únicamente esfuerzos de tracción, por lo que para que la membrana se mantenga tensada bajo cualquier condición de carga la presión del aire deberá ser suficiente y, además, la tensión inicial deberá proporcionarle la rigidez necesaria para que la deformación sea mínima.

En el caso de estructuras neumáticas comerciales el peso de las membranas (de 0.61 kg/m² para lonas a 1.53 kg/m² para textil revestido o 4.88 kg/m² para cubiertas de grandes estadios) es insignificante en comparación con las posibles cargas de viento y nieve.

La carga de viento es la que produce mayores tensiones siendo variable la distribución de su presión. En estructuras rebajadas sólo habrá succiones. Como la compresión de la base la soportará una estructura rígida (paredes, pórtico, tierra), únicamente se necesita una presión de aire mínima para soportar el peso de la membrana y la posible carga de nieve, así como para estabilizarla frente a las posibles ráfagas del viento. Las estructuras más altas, por el contrario, deben resistir grandes presiones del viento, por lo que necesitarán presiones altas de aire para disminuir las deformaciones y la formación de pliegues en la membrana.

Al ir aumentando la altura, aumentan las fuerzas externas del viento, así como la presión del aire y las fuerzas de membrana pero, simultáneamente, disminuye el radio de curvatura, lo que vuelve a producir una disminución de las fuerzas de membrana. Algunos autores establecen como valor óptimo para la altura el 2% de la luz del vano, para estructuras que no tienen una base rígida, y el 6% del vano cuando la base rígida resiste la presión positiva del viento.

Cuando el perfil de la estructura sea cilíndrico o esférico, de bastante altura, la carga de nieve deja de ser crítica, ya que el viento tirará la nieve al suelo, ayudado por el calor que despiden la superficie que la derretirá. Sin embargo, en las cubiertas



más achatadas, el efecto de la nieve es más crítico. Si la nieve está uniformemente distribuida se podrá soportar la carga adicional incrementando la presión interna hasta un cierto valor, sin aumentar la tracción en la membrana. Esto no es lo usual, por eso es recomendable utilizar algún sistema para derretirla evitando así que la acumulación de nieve aumente la tensión de la membrana.

Las fuerzas de membrana pueden disminuirse reduciendo la curvatura y creando nervaduras con cables o pilares a tracción. Estas fuerzas dependen por tanto de las dimensiones y forma geométrica de la estructura, así como de la magnitud de la presión interna.

4.4 Tipos

Se pueden distinguir dos tipos de estructuras neumáticas:

- **Estructuras soportadas por aire:** Estructuras formadas por una única membrana tensada por una pequeña presión interna diferencial que puede ser positiva, adoptando entonces formas convexas, o negativa, con formas cóncavas (imagen 4).

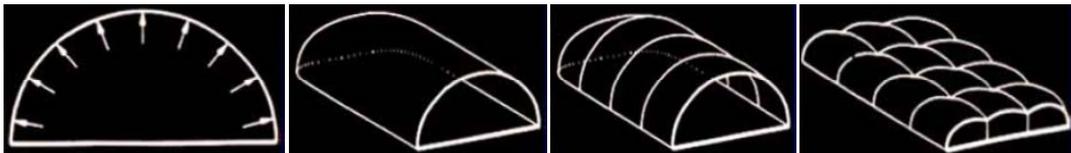


Imagen 4. Esquema de estructuras soportadas por aire (Shierle)

- **Estructuras con aire a presión:** Estructuras formadas por elementos tipo tubo sometidas a presión superior, que forman pilares, vigas, pórticos, etc. (imagen 5), El volumen de aire del local permanece a la presión atmosférica.

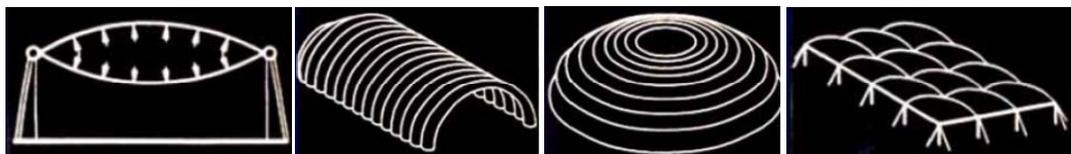


Imagen 5. Esquema de estructuras con aire a presión (Shierle)

Combinación de ambos sistemas, o bien combinando sistemas neumáticos con algún tipo de estructura rígida de soporte.

4.5 Estructuras soportadas por aire

Las estructuras neumáticas soportadas por aire tienen una geometría propia y están pretensadas por medio de la presión del aire interior, mayor que la presión atmosférica, para poder soportar las cargas exteriores que las comprimen.



Pueden formar grandes cubiertas achatadas apoyando sobre estructuras rígidas o bien ser estructuras apoyadas directamente en el terreno.

La membrana se anclará siempre a lo largo de su perímetro para evitar que se levante, ya que se trata de una estructura antigraavitatoria.

Se debe ir reponiendo el aire perdido. Se disponen entonces dos equipos de ventiladores, como mínimo, de forma que uno actúe sólo en casos de emergencia, cuando la presión disminuya a niveles que pudieran comprometer la seguridad, por lo que cada uno debe ser capaz, por sí solo, de soportar y pretensar la membrana al nivel deseado.

La magnitud de la presión de diseño dependerá de las condiciones de carga (viento, nieve,..), del tamaño de la estructura y de su estanqueidad (número de puertas y ventanas, fugas,..).



Imagen 6. Pabellón de Estados Unidos en la Expo de Osaka (Shierle)

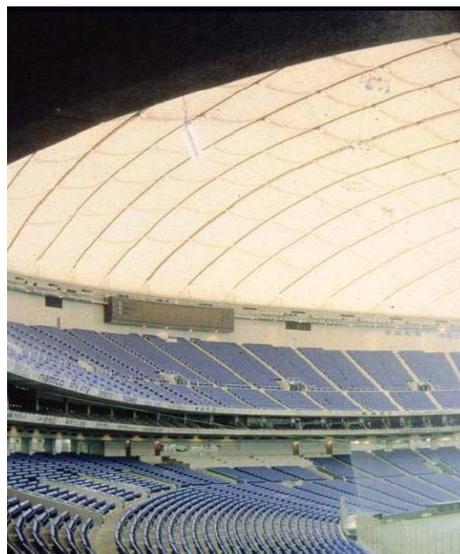


Imagen 7. Estadio de Pontiac, Michigan (Shierle)



Ejemplos de este tipo de estructura son el Pabellón de EEUU en la Expo de Osaka (1970, David Brody y otros), imagen 6 y el estadio de Pontiac en Michigan (1975, O'Dell Hewlett, Luckenbach), imagen 7.

4.6 Estructuras con aire a presión

En este tipo de estructura neumática, el aire a presión infla formas que se utilizan para crear la envolvente del edificio. Estas formas son arcos, vigas, pilares, paredes, etc. El espacio interior, sin embargo, permanece a la misma presión que la atmosférica.

La presión necesaria debe ser mayor, ya que se utiliza para crear formas que soporten las cargas comportándose como si fueran elementos rígidos. Por ese motivo, los materiales que componen las membranas deben ser más resistentes, no sólo porque las presiones son altas sino porque, además, se mantienen durante bastante tiempo.

Hay dos tipos de estructuras con aire a presión: Sistemas tubulares formados por elementos lineales inflados de fuerte curvatura en una dirección y que van conformando el espacio por traslaciones sucesivas del elemento (pilares, arcos, vigas,...) y sistemas de doble pared o colchón de aire que forman paredes, forjados o cubiertas. Las dos membranas se unen mediante hilos o diafragmas.



Imagen 8. Estadio BC Place, Vancouver

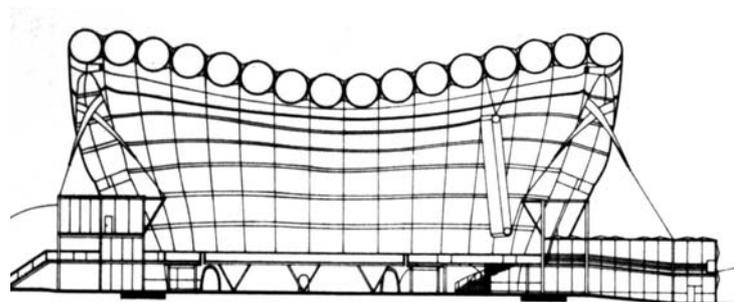


Imagen 9. Sección Pabellón Fuji, Osaka (Shierle)



Imagen 10. Pabellón Fuji, Osaka, (Shierle)

Ejemplos de este tipo de estructura son el Estadio BC Plaza en Vancouver (1983, Phillips Barrett), imagen 8, y el conocido Pabellón Fuji de la Expo de Osaka (1970, Y. Murata), imagen 9 y 10.

5 Cierre

En este tema se han tratado las estructuras neumáticas: su comportamiento estructural, los materiales que se utilizan para sus membranas y los distintos tipos.

Se propone la búsqueda de ejemplos de estructuras neumáticas identificando a qué tipo corresponden.

Solución: un ejemplo de estructuras neumáticas con aire a presión son las sombrillas de la Expo de Osaka y de estructuras soportadas por aire el Metrodome de Minneápolis.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

[1] Basset, L.; Abdilla E. "Modelos estructurales y diseño estructural", Servicio de Publicaciones SPUPV-98.268, 1998.

[2] Basset, L.; Guardiola, A. "Estructuras formadas por cables" en la colección: Artículos docentes ETSA.
Disponibile en: <http://hdl.handle.net/10251/13615>

[3] Basset, L. "tensoestructuras" en la colección: Artículos docentes ETSA.
Disponibile en: <http://hdl.handle.net/10251/16499>

[4] Shierle G.G. "Architectural Structures", ed. University of Southern California, Los Angeles. 2006



6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

[5] <http://www.pradapoole.com/>

6.3 Figuras e imàgenes:

Imagen 1. Ciudad instantánea de Ibiza. [5] <http://www.pradapoole.com/>

Imagen 2. Esquema del sistema de cables del Pabellón EEUU Expo, Osaka. [4] Shierle

Imagen 3. Unión membrana-cable Pabellón EEUU Expo, Osaka. [4] Shierle

Imagen 4. Esquema de estructuras soportadas por aire. [4] Shierle

Imagen 5. Esquema de estructuras con aire a presión. [4] Shierle

Imagen 6. Pabellón de Estados Unidos en la Expo de Osaka. [4] Shierle

Imagen 7. Estadio de Pontiac, Michigan. [4] Shierle

Imagen 8. Estadio BC Place, Vancouver. Autora: Luisa Basset

Imagen 9. Sección Pabellón Fujii, Osaka. [4] Shierle

Imagen 10. Pabellón Fujii, Osaka. [4] Shierle