

CATALOGACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE ENVOLVENTE NEUMÁTICA, A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE SUS PRINCIPALES PARÁMETROS CUALITATIVOS

¹ Gómez González, A.*; ¹ Neila González, J.

¹ Grupo de Investigación ABIO_Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible
Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas
Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid
Avda. Juan de Herrera, 4, 28040, Madrid
alberto.gomez.gonzalez@upm.es

RESUMEN

El diseño de sistemas neumáticos como envolvente arquitectónica ha experimentado un importante desarrollo, desde que a principios del s.XX las nuevas necesidades militares, sociales y económicas requirieran nuevos sistemas para la cubrición de grandes luces, con un rápido y fácil montaje. Sin embargo, los múltiples proyectos y experiencias, se han desarrollado sin una línea constante de documentación y catalogación. Su revisión histórica y crítica, a través de artículos y publicaciones especializadas, ha mantenido un ciclo paralelo al interés global mostrado por este tipo de sistemas constructivos; apareciendo picos de máxima desarrollo, como el de los años setenta, y valles de escasa documentación como el de décadas posteriores.

La investigación ha tenido como objetivo la realización de una nueva revisión histórica y crítica de esta todavía “joven” tecnología, complementando los periodos de menor catalogación y permitiendo establecer los condicionantes principales y los puntos de afianzamiento y de inflexión, desarrollados en el ámbito de los sistemas de envolvente neumática arquitectónica.

La metodología de análisis se ha focalizado en la localización y documentación de aquellos proyectos, tanto construidos como conceptuales, cuyas propiedades cualitativas hayan supuesto una especial innovación en el ámbito de las tecnologías de envolvente neumática. De modo que sobre cada una de las estrategias catalogadas, se ha procedido al estudio pormenorizado de sus parámetros morfológicos, funcionales, constructivos, energéticos y medioambientales.

La metodología de organización de datos, se ha coordinado a través de la realización de una base de datos de carácter interactiva y abierta, facilitando tanto el estudio individualizado de cada una de las propuestas, como el análisis comparativo de los diferentes proyectos, en función de los diferentes parámetros y subparámetros de caracterización.

La catalogación de más de 660 estrategias, ha permitido el estudio comparativo y evolutivo de las principales tipologías neumáticas; a través de un sistema organizativo de código abierto, que ha facilitado una lectura de resultados no lineal, interactiva y dinámica.

1.-Marco teórico

La estabilización por diferencias de presión, ejercida por gases o fluidos, es uno de los fenómenos más comunes en la naturaleza; manifestándose su existencia a todas las escalas, desde las estructuras celulares más básicas hasta los procesos atmosféricos más complejos. Sin embargo, su aplicación en el ámbito arquitectónico todavía se puede considerar minoritaria, especialmente respecto a otros sistemas estructurales ligeros consolidados.

Para establecer una definición genérica del comportamiento estructural de los sistemas presostáticos, se ha recurrido a la realizada por el Dr-Ing. Frei Otto, investigador pionero en el estudio de los principios de las estructuras ligeras; quien los define como “sistemas estructurales consistentes en una envolvente, capaz de soportar tensiones a tracción, y que es estabilizada mediante la diferencia de presiones entre el medio interior y el medio exterior” [1]. Los sistemas presostáticos engloban diferentes tipologías, en función del medio que proporciona la presión interior para su estabilización; siendo los principales subsistemas los hidrostáticos y los aerostáticos o neumáticos. En términos generales, se puede decir que mientras los primeros, se estabilizan mediante fluidos, los segundos lo hacen mediante gases. Aunque etimológicamente, el origen de ambos términos se refiere a los medios iniciales de estabilización de estos sistemas (agua y aire); su utilización común se ha ampliado hasta asociarse genéricamente, a líquidos y gases [2], respectivamente.

Por su parte, el término neumático procede del latín “pneumatĭcus”; que a su vez procede del griego, “πνευματικός”, y significa relativo al aire [3]; y su definición dada por la Real Academia Española es: “adj. Que funciona con aire u otro gas”. Sin embargo, en lo referente a sus aplicaciones en el ámbito de la construcción y la arquitectura, algunos autores han considerado que su campo de referencia abarca también al de otros medios de estabilización como los fluidos o los sólidos de pequeña granulometría, como las arenas o incluso gravas. Entre los autores que aplican esta generalización del término, se encuentran investigadores pioneros como Frei Otto [4] o Roger Dent [5], quienes consideran que el término neumático (Pneu), está lo suficientemente difundido como para agrupar también otros sistemas presurizados por otros medios, como el agua, ya que su comportamiento sobre la membrana es equivalente al de los gases.

Sin embargo, en el presente trabajo, sólo se van a considerar los sistemas neumáticos como aquellos estabilizados por diferencias de presión ejercida por gases, atendiendo a la propia etimología del término; diferenciando el resto de sistemas en función de su medio estabilizador, o aplicando en su caso la denominación genérica de sistemas estabilizados por diferencia de presión.

1.1.- Aplicaciones tecnológicas de los sistemas neumáticos

La influencia de los sistemas estabilizados por presurización es completa en la vida cotidiana del ser humano. Desde las primeras velas de los barcos a los balones de juego o los globos aerostáticos, los sistemas neumáticos han estado continuamente presentes en los desarrollos tecnológicos realizados por el ser humano [6].

Sin embargo, en la mayoría de las situaciones, la invención de nuevos productos ha estado más relacionada con la observación de la naturaleza y las metodologías de prueba y error, que con la investigación del comportamiento efectivo de las propiedades de las envolventes y los fenómenos presostáticos ejercidos sobre ella. Por ello, la utilización de modelos teóricos sobre el comportamiento a gran escala, no surgió hasta finales del siglo XVIII, con las primeras aplicaciones de estos sistemas en construcciones ligeras en el ámbito de la aeronáutica.

Será esta industria, la que impulsará la investigación de los procesos aerostáticos, de la mano de las primeras aproximaciones de Francesco Lana di Terzi (1670) o de Bartolomeu Lourenço de Gusmão (1709), materializadas por primera vez por los hermanos Montgolfier en 1780 y sus primeras envolventes de papel, seda o lonas.

Las posteriores construcciones de los primeros autodirigibles (1890) y los Zeppelin (1900), contribuyeron al estudio de los procesos físicos condicionantes de estas construcciones, hasta llegar al nivel de eficiencia de los actuales globos aerostáticos.

Será también durante el s. XVIII, cuando tengan lugar un gran número de inventos relacionados con los fenómenos presostáticos. Sin embargo, no será hasta principios del s. XX, cuando se patenten algunos de los primeros inventos de mayor repercusión social, en su mayoría relacionados con el transporte, como las primeras investigaciones de Robert William Thomson para conseguir las ruedas neumáticas (1845) y la construcción por Dunlop de la primera bicicleta con rueda inflada (1888).

Las aplicaciones en arquitectura han sido mucho más tardías, datando de 1917 la primera patente de una construcción presostática soportada por aire; a la que seguirían diversas aplicaciones infladas desarrolladas durante los periodos de guerra, aprovechando las propiedades de ligereza y fácil transporte y montaje de estos sistemas. Sin embargo, no será hasta 1946 cuando Walter Bird diseñe su primera envolvente de carácter permanente, para la construcción de un Radom. A esta construcción, le seguirán años después, diversos almacenes (1957) y cubriciones de espacios deportivos, como la piscina cubierta del propio Bird, de ese mismo año. La economía de estos sistemas, favoreció un incipiente desarrollo, y un importante salto de las construcciones auxiliares a la utilización en las envolventes de edificios representativos, especialmente representativo es el caso de la Exposición Universal de Osaka de 1970. Sin embargo, tras una fase de importante desarrollo, durante la década de los setenta y los primeros años de los ochenta, donde se estima ya se habían construido en todo el mundo alrededor de 60.000 ejemplos de construcciones neumáticas soportadas [7], las crisis energéticas y económicas, al igual que la baja durabilidad de las membranas empleadas, favorecieron la vuelta a la aplicación de materiales más convencionales, estableciéndose un periodo de un par de décadas de decadencia productiva. Sin embargo, la investigación de nuevos materiales como el ETFE y la mejora del comportamiento de los revestimientos para tejidos de fibras orgánicas y plásticas, han conseguido devolver las construcciones presostáticas al ámbito de la arquitectura y la innovación. De modo que en la actualidad se está produciendo un interesante proceso de reactivación de estas tecnologías y de incorporación a numerosos ejemplos arquitectónicos representativos.

2.- Primera fase de la investigación

Como fase previa a la catalogación y análisis de los sistemas de envolvente neumática, ha sido necesario realizar una revisión previa de la nomenclatura relacionada con esta tecnología, asociada a las principales bases de datos existentes. Con el objetivo de organizar la terminología más frecuentemente empleada (tabla 1), se han consultado las principales bases de datos públicas españolas e internacionales; para determinar que tipo de nomenclaturas son las más utilizadas. Para ello, se han tomado como referencias nacionales, las bases de datos de las bibliotecas universitarias y centros de investigación, agrupadas en REBIUN; las bases de datos de cada uno de los Colegios Oficiales de Arquitectos y sus respectivas delegaciones; y en el ámbito internacional, el índice de publicaciones periódicas de la Universidad de Columbia, AVERY; y la base de datos del catálogo del Instituto de Estructuras Ligeras (ILEK) de la Universität Stuttgart, donde comenzó con mayor profusividad la investigación de tecnologías neumáticas.

2.1.-Nomenclatura asociada a las construcciones neumáticas en la edificación

Producto de este estudio previo, se ha constatado la ausencia de homogeneidad en la nomenclatura empleada en las principales bases de datos nacionales/ internacionales y la consiguiente dificultad en la organización y consulta de los recursos catalogados. Se ha observado, que la terminología existente es amplia y en muchas ocasiones difusa, existiendo multitud de términos, utilizados de forma indistinta, obviando cualquier tipo de jerarquía. Ya en la primera sesión del 1. International Colloquium on Pneumatic Structures, celebrado el 11 y 12 de mayo de 1967 en la Universidad de Stuttgart, Walter W. Bird [8] manifestaba este problema y aproximaba una primera clasificación en dos tipologías principales, en función de la configuración de la envolvente y la presión que la estabiliza: “air-supported structures” (estructuras soportadas por aire) y “air-inflated” (estructuras infladas). Sin embargo, esta variedad terminológica, se continua manifestando en la organización bibliográfica de publicaciones y artículos de las principales bases de datos; de modo que en la búsqueda documental se puede encontrar un mismo artículo referenciado bajo multitud de nomenclaturas; tales como estructuras/ construcciones inflables, infladas, hinchables, hinchadas, de aire, soportadas, neumáticas, etc. De modo, que esta falta de exactitud dificulta en gran medida la organización y catalogación, al igual que la consulta de los recursos existentes.

La consulta de las principales bases de datos, demuestra la variedad de nomenclaturas existentes en la búsqueda de referencias bibliográficas; no sólo entre los diferentes catálogos consultados, sino entre los resultados de una misma base, donde llegan a existir hasta 7 tipos de nomenclaturas diferentes para definir este tipo de construcciones, sin presentar una jerarquía reconocible.

REBIUN		Colegios Oficiales de Arquitectos	
nomenclatura	referencias	nomenclatura	referencias
hinchable	21	hinchable	24
neumática	7	inflable	5
		neumática	20
		pneumatic	12
		pneumàtiques	33
		pneumatische	1
total tipos de nomenclatura	2	total tipos de nomenclatura	6
Universidad de Stuttgart		Avery	
nomenclatura	referencias	nomenclatura	referencias
air supported	10	air supported	112
aufblasen	3	ETFE	32
inflatable	7	gonflable	9
inflated	1	inflatable	56
pneu*	11	pneumatic	156
pneumatisch	15	pneumatische	4
tragluftkonstruktion	6		
total tipos de nomenclatura	7	total tipos de nomenclatura	6

Tabla. 1 Nomenclaturas referentes a construcciones neumáticas en las principales bases de datos de publicaciones nacionales e internacionales. Tablas de elaboración propia. Fuente: REBIUN; catálogos de bibliotecas de los Colegios Oficiales de Arquitectos y sus Delegaciones respectivas; catálogo de la biblioteca de la Universidad de Stuttgart; índice Avery.

Además, como se ha comentado anteriormente, en la mayoría de los casos, los motores de búsqueda no presentan una jerarquía de resultados, sino que utilizan nomenclaturas tan específicas que en ocasiones arrojan un único resultado, obviando el resto de recursos de la misma base; lo que dificulta especialmente la consulta. Por otro lado, se ha analizado la evolución de la nomenclatura asociada a la evolución histórica de estos sistemas, para comprobar si el tipo de nomenclatura ha ido homogeneizando en las últimas décadas. Aunque, las bases de datos de referencia son las mismas que en la fase anterior, se exponen a continuación los resultados de dos de ellas, a modo de ejemplo del estudio realizado.

2.1.1.-Catálogos de bibliotecas de Colegios Oficiales de Arquitectos de España

Del análisis de las palabras clave para la búsqueda de construcciones neumáticas en las bases de datos de los catálogos de los Colegios Oficiales de Arquitectos de España (fig.1), se ha observado que la mayoría de bibliotecas no presentan una jerarquía terminológica clara, dificultando la consulta. De este modo, las publicaciones se clasifican indistintamente en hinchables, inflables o neumáticas; sin tener en cuenta que las dos primeras son subcategorías de la tercera. Una excepción es el COA de Catalunya, que permite una búsqueda jerarquizada, bien a través del término general de “pneumàtiques/neumáticas”, o bien mediante búsquedas específicas de los subsistemas que en él se engloban.

Por otro lado, la falta de un consenso específico para establecer la nomenclatura de búsqueda común, llega a dar situaciones en las que la propia palabra clave tiene un significado contradictorio y opuesto, con la publicación a la que se hace referencia. Por ejemplo, el COAC asocia el término “hinchable” a la publicación “Knaack, Ulrich. Defleatables. Rotterdam: 010 Publishers, 2008”, donde en realidad se analizan sistemas al vacío.

2.1.2.-Índice AVERY

Al igual que sucede en los catálogos de los Colegios Oficiales de Arquitectos y de la red REBIUN, el índice AVERY no presenta un sistema de búsqueda jerarquizado, de modo que para poder tener un conocimiento global de las publicaciones existentes, es necesario realizar gran cantidad de búsquedas parciales, a través de palabras claves no relacionadas entre sí. De este modo, aunque los sistemas air-supported o los inflados, son tipologías de las construcciones neumáticas, las referencias actuales sólo permiten búsquedas independientes; ya que una búsqueda bajo la nomenclatura de “pneumatic” no facilitará los sistemas air-supported, lo que facilitaría en gran medida la consulta.

Por otro lado, la clasificación actual demuestra la falta de un consenso claro en el ámbito internacional para la organización de estos sistemas; produciéndose también contradicciones entre las nomenclaturas tipo y las publicaciones a las que hacen referencia. Por ejemplo, las búsquedas bajo el término “air-supported” dan como referencia publicaciones que estudian los sistemas “inflados”, y viceversa; como sucede con el caso de la publicación “Space invaders: Los Angeles installation inflates, titillates”, de David Sokol.

Se observa además, como la aparición del material ETFE, ha tenido una repercusión tan alta en los últimos años, como para llegar a ser una de las palabras clave mayor referenciadas en el índice de publicaciones periódicas AVERY.

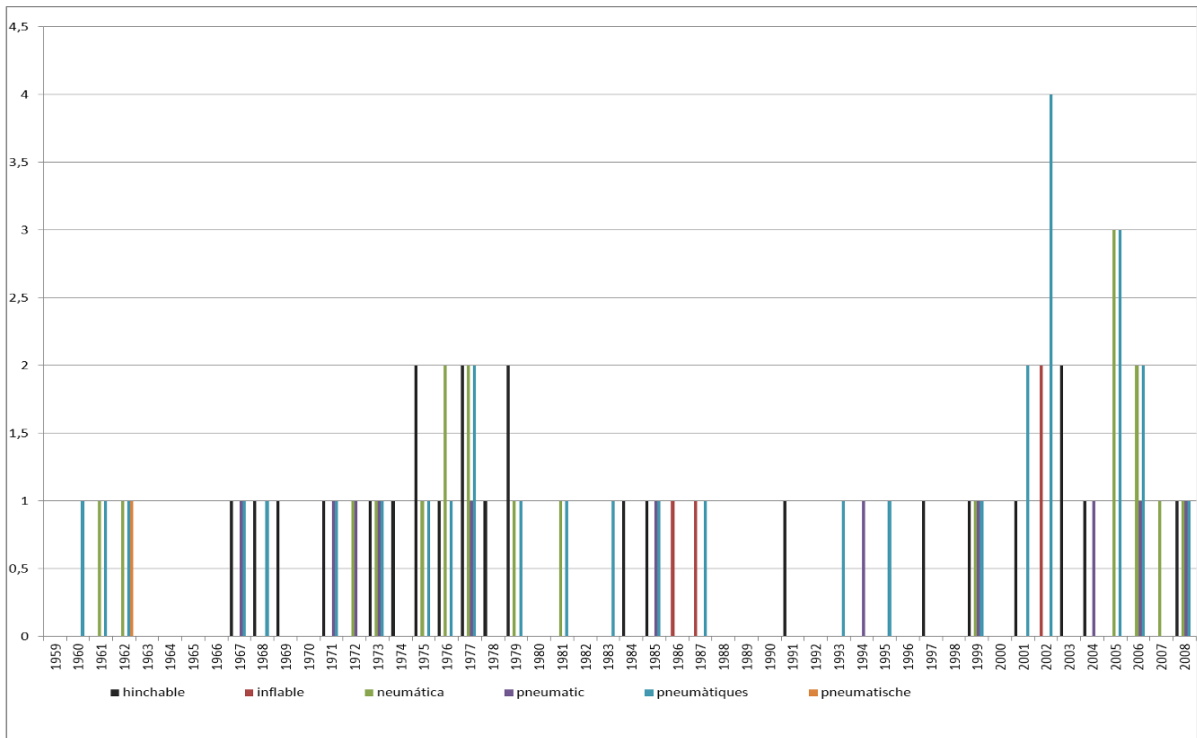


Fig.1 Relación de referencias bibliográficas en función de las palabras clave, en función de su volumen y su fecha. Tabla de elaboración propia. Fuente: Catálogos de las bibliotecas de cada uno de los Colegios Oficiales de Arquitectos y sus delegaciones, julio 2009.

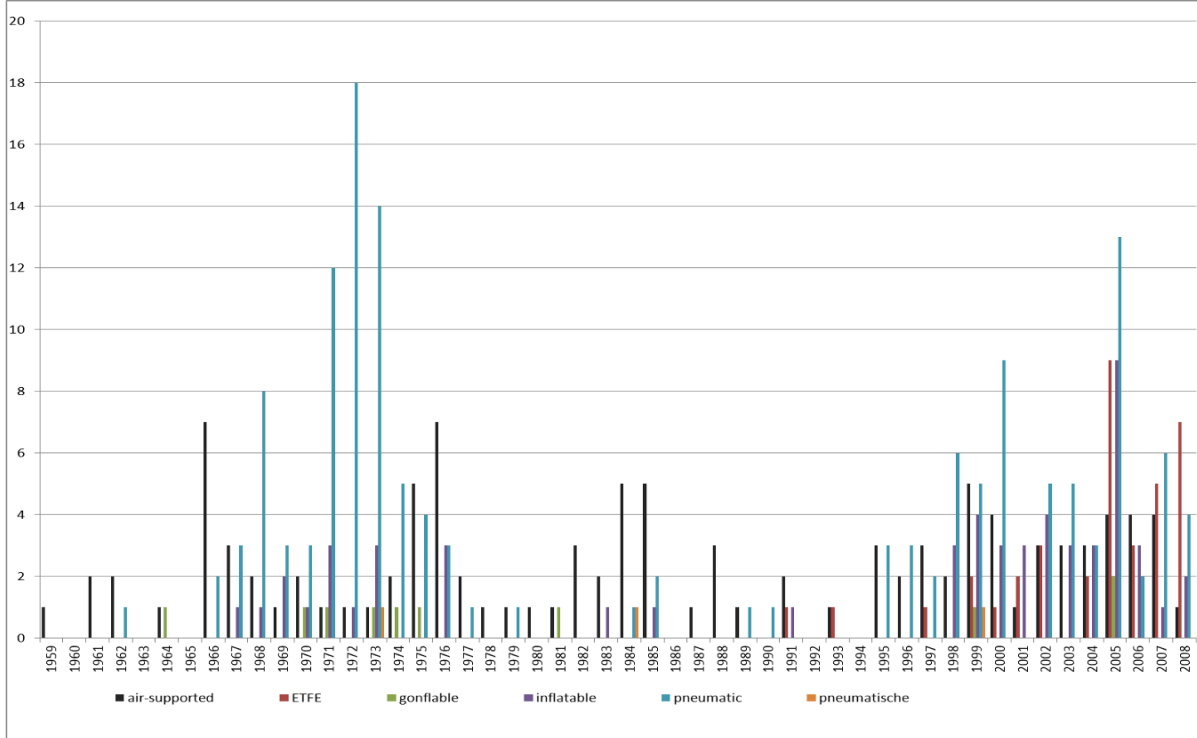


Fig.2 Relación de referencias bibliográficas en función de las palabras clave, en función de su volumen y su fecha. Tabla de elaboración propia. Fuente: Datos obtenidos del Avery Index, julio 2009.

2.2.- Necesidad de jerarquización en la nomenclatura de búsqueda

Como se ha analizado anteriormente, la falta de una metodología de clasificación asociada a las bases de datos de referencia de las construcciones neumáticas, no sólo dificulta un estudio claro y profundo del estado de la cuestión de estos sistemas, sino que manifiesta la falta de continuidad en su estudio teórico, dificultando una organización rigurosa similar a la establecida en otros ámbitos científicos de mayor antigüedad.

Por otra parte, la multiplicidad de términos asociados a palabras clave, provoca una gran confusión, especialmente en las primeras fases de búsqueda; de modo que una jerarquización de la nomenclatura facilitaría en gran medida la organización clara de las publicaciones existentes. De este modo, se manifiesta necesario plantear una organización, en la que se jerarquicen los resultados en función del tipo de presión y la conformación espacial de la membrana; permitiéndose tanto búsquedas generalizadas bajo el término genérico de neumáticas y búsquedas parciales en función de las siguientes 6 categorías principales: Soportadas a baja presión, infladas a alta presión, infladas a baja presión, sistemas combinados, sistemas de presión negativa y sistemas al vacío.

2.3.- Conclusiones parciales

En relación con los análisis previamente realizados, se ha llegado a las siguientes conclusiones parciales, asociadas a las bases de datos de publicaciones impresas y a sus metodologías de organización respecto a las construcciones neumáticas:

_Ausencia de nomenclatura de consulta jerarquizada y consensuada, lo que dificulta en gran medida la catalogación y búsqueda.

_Mientras la búsqueda informática está coordinada entre todas las universidades públicas a través de REBIUN, los Colegios de Arquitectos no presentan ningún tipo búsqueda cruzada que permita compartir resultados.

_Las bases de datos, tanto de REBIUN como de los Colegios de Arquitectos (salvo Madrid y Cataluña), no permiten la búsqueda de artículos.

_Los Colegios de Arquitectos de España presentan un total de 48 bases de datos diferentes e independientes por demarcaciones, salvo el de Cataluña que presenta un catálogo informatizado, con los datos de todas sus bibliotecas compartidos.

_De las 48 bases de datos de los Colegios de Arquitectos de España, solamente 12 presentan catálogo informatizado accesible sin necesidad de estar colegiado.

_Los Colegios de Arquitectos que presentan un mayor número de publicaciones sobre envolventes neumáticas, son el de Cataluña (39 salidas) y Madrid (12 salidas).

_Las publicaciones mayoritarias en los 12 Colegios de Arquitectos con catálogo informatizado accesible, son las de Roger Dent (Principles of pneumatic architecture, London: Architectural Press, 1971) y Thomas Herzog (Pneumatische Konstruktionen. Bauten aus Membranen und Luft, Stuttgart: Gerd Hatje, 1976). Siendo las únicas existentes en 6 de ellos (Cantabria, Navarra, La-Rioja, Castellón, Córdoba y Granada); de los cuales Cantabria y La Rioja presentan una única salida, la primera publicación de Roger Dent.

_Sólomente 5 catálogos informáticos de Colegios de Arquitectos de España, catalogan publicaciones posteriores a la década de 1970.

_La inexistencia de una red de bases de datos coordinada y complementaria entre las diferentes entidades, especialmente en el caso de los Colegios de Arquitectos, dificulta la difusión y consulta.

_El crecimiento del número de Escuelas de Arquitectura abiertas en los últimos años, no se ha visto acompañado de una dotación de medios equivalente entre diferentes Universidades. Sólomente 14 Universidades presentan alguna publicación catalogada, posterior a 1990.

_El número de publicaciones catalogadas informáticamente en REBIUN, relativas a sistemas neumáticos es de 24; de las cuales 12 son anteriores a 1980.

_El número de publicaciones catalogadas informáticamente en los diferentes Colegios de Arquitectos de España, relativas a sistemas neumáticos, es de 79, de las cuales 33 son anteriores a 1980. Aunque la mayoría de las publicaciones posteriores a 1980 corresponden a artículos en revistas.

_La diferencia entre el número de publicaciones catalogadas en los Colegios de Arquitectos y en REBIUN, reside en la práctica ausencia de artículos de revistas informatizados por las bibliotecas universitarias.

_Alternancia de periodos de máximo nivel de publicaciones (década de 1970 y década de 2000) con periodos de escasas publicaciones (década de los 1990).

_Los artículos en publicaciones periódicas han evolucionado hacia el análisis individualizado de obras construidas; frente a la década de los 1970, donde priorizaban la difusión de la técnica mediante el estudio y compilación de varias obras por artículo.

_Las publicaciones de Roger Dent (Principles of pneumatic architecture, London: Architectural Press, 1971) y Thomas Herzog (Pneumatische Konstruktionen. Bauten aus Membranen und Luft, Stuttgart: Gerd Hatje, 1976), siguen siendo las compilaciones de referencia.

_Los libros publicados en las últimas décadas analizan aspectos concretos (materiales, funcionamiento de determinados sistemas, etc) pero no se ha realizado una compilación y análisis de la evolución de esta tecnología, desde las publicaciones de Roger Dent y Thomas Herzog.

2.4.- Propuestas parciales respecto a la problemática actual de las bases de datos

Como propuestas parciales de mejora del estado actual organizativo de las bases de datos, se plantean las siguientes cuestiones:

_Establecimiento de una nomenclatura única para todas las bases de datos. Jerarquización de otras posibles nomenclaturas secundarias, pero asociadas también a la consulta tipo de referencia.

_Mayor accesibilidad a la base de datos.

_Optimización de recursos en las bibliotecas de los Colegios de Arquitectos, compartiendo bases de datos.

_Catalogación y compilación de propuestas, no realizada de forma exhaustiva desde los años 1970.

_Es necesario el apoyo en las tecnologías informáticas, para la difusión de conocimientos en la actualidad; no sólo por la mayor accesibilidad que permiten, sino por la interactividad y modificación de contenidos que estas facilitan frente a los sistemas tradicionales.

_Construcción de una base de datos interactiva, que permita el estudio comparativo de las diferentes propuestas y el análisis de la evolución de los sistemas de envolvente neumática.

3.- Segunda fase. Propuesta de base de datos interactiva

Una vez analizado el marco teórico de la investigación y determinadas las principales problemáticas relativas al estudio y catalogación de las construcciones neumáticas arquitectónicas en las últimas cuatro décadas, se plantea la construcción de una metodología de trabajo que permita completar, ordenar y facilitar el estudio individual y comparativo de la evolución de estos sistemas, desde sus primeras patentes hasta los proyectos más recientes.

Para ello, se plantea un estudio selectivo y cualitativo de los proyectos existentes, en función de los principales parámetros influyentes en la definición de las diferentes tipologías de construcciones neumáticas. Los parámetros de estudio pormenorizado, se han organizado en los siguientes seis grandes grupos: Proyectuales, funcionales, morfológicos, constructivos, climáticos y de acondicionamiento para la consecución del confort y reducción de consumo energético.

Parámetros proyectuales

- _ Estudio cronológico
- _ Obra construida / en proceso de construcción / no construida / proyecto conceptual
- _ Localización. Datos por países y por ciudades
- _ Autor/es

Parámetros funcionales

- _ Tipos de usos en relación con las tipologías de construcciones neumáticas
- _ Tipos de usos en relación con su flexibilidad temporal
- _ Tipos de usos en relación con su contacto con el exterior
- _ Obra nueva/ rehabilitación / ampliación
- _ Aplicaciones de las construcciones neumáticas

Parámetros morfológicos

- _ Clasificaciones neumáticas existentes en función de la búsqueda de la forma
- _ Propuesta de clasificación en función de la búsqueda morfológica
- _ Sistemas adaptativos / cinéticos
- _ Tamaño. Número y dimensiones de elementos unitarios.
- _ Superficie de envolvente
- _ Dimensiones

Parámetros constructivos

- _ Principio estructural
- _ Tipologías en función de su función estructural
- _ Transmisión de cargas al terreno. Tipologías de cimentación
- _ Transmisión de cargas a otros elementos estructurales
- _ Elementos auxiliares para transmisión de esfuerzos
- _ Detalles de unión membrana-membrana. Patrones de corte y tipos de uniones
- _ Materiales de membrana. Principales parámetros.
- _ Control de la presión interna. Gases. Mecanismos de estanqueidad al aire
- _ Sistemas suministro de presión. Equipos. Protección contra la sobrepresión.

Zonas climáticas

- _ Principales bases de datos
- _ Latitud
- _ Altitud sobre el nivel del mar (m)

- _Presión standard para su altitud
- _Zona climática
- _Parámetros climáticos. Temperaturas máximas y mínimas. Humedades relativas. Precipitaciones. Viento. Radiación solar

Parámetros de confort y eficiencia energética

- _Control térmico. Metodologías de análisis del comportamiento térmico de las construcciones neumáticas
- _Aislamiento térmico
- _Reflexión de la radiación térmica
- _Climatización
- _Ventilación
- _Consumo energético
- _Estudio de estrategias de ahorro energético. Aprovechamiento de la estratificación térmica para la estabilización de construcciones soportadas. Iluminación. Transmisión de la luz visible. Aprovechamiento iluminación natural. Sombreamiento. Coloración envolvente. Acondicionamiento acústico. Captación energía solar.

Con el objetivo de favorecer un sistema activo y versátil de organización y consulta de los proyectos documentados; se ha realizado la construcción de una base de datos informatizada, interactiva y de carácter flexible, permitiendo la clasificación comparativa de todos los proyectos analizados, en función de los parámetros anteriormente descritos. De este modo, se ha logrado la realización de una base de datos abierta, en la que la posibilidad de inclusión de proyectos y de nuevos parámetros de consulta se pueda realizar de un modo ágil y sencillo.

En paralelo a la base de datos global, se ha construido un sistema de generación de fichas relativas a cada proyecto de estudio; estableciendo un resumen de los datos asociados a cada uno de los parámetros principales. La coordinación entre base de datos y sistema de fichas, ha sido estudiada con detalle, optimizando la transmisión directa de información entre ellas. Simplemente, mediante la selección de un proyecto en la base general, se organizan de modo automático sus datos en la ficha resumen, facilitándose el trabajo de catalogación y análisis comparativo de estrategias; mientras que por otro lado, el modelo de fichas resumen permite la consulta individualizada de cada proyecto, a través de una sencilla interfaz.

4.- Clasificación tipológica en función del tipo de presión

Con el objetivo de unificar criterios, en cuanto a la nomenclatura relacionada con las construcciones neumáticas, la base de datos se ha organizado en función de las características de la presión que les proporciona estabilidad, asociándola a la configuración espacial de la membrana. Esta clasificación, ha servido de base para el resto del proyecto; ya que a pesar de la variedad de nomenclaturas y matices existentes, en función de los diferentes autores, la organización en función del tipo de presión para la estabilización, es la más comúnmente difundida.

En cuanto a los proyectos catalogados, se ha realizado un estudio cualitativo del estado del arte de las construcciones neumáticas, y no un estudio cuantitativo. Por esta razón, aunque las construcciones neumáticas soportadas a baja presión, superaban ya en 1970, las 60.000 realizaciones, sólo se han documentado aquellas que presentan realmente parámetros de innovación formal, espacial, constructiva y/o conceptual. De este modo, aunque en el conjunto de realizaciones,

las construcciones soportadas han sido las que comercialmente más se han utilizado; en el presente estudio la mayoría de estas construcciones no se han catalogado, por tratarse de copias directas o con pequeñas variaciones del patrón inicial; este último sí documentado. Por ello, la siguiente recopilación, hace referencia al porcentaje de sistemas cualitativamente innovadores, que han sido catalogados para cada una de las tipologías; y no supone una evaluación de que tipo de sistemas han sido cuantitativamente más utilizados.

Además de los parámetros cualitativos, se debe tener en cuenta la mayor evolución que han tenido las construcciones infladas a baja presión (+ inflated) en las últimas décadas, frente a las primeras construcciones eminentemente soportadas a baja presión (+ air supported); lo que ha facilitado la documentación de aquellas estrategias más recientes frente a las que se realizaron inicialmente. Otras tecnologías, como los sistemas de presión negativa (- deflateable) o al vacío (-- vacuumatic), todavía se encuentran en etapas de escasa madurez, por lo que no se han podido documentar gran cantidad de proyectos. Lo mismo sucede con las tipologías infladas Tensairity® (+ inflated Tensairity®), las cuales tuvieron sus primeras aplicaciones hace apenas una década, lo que reduce considerablemente el volumen de proyectos realizados. Respecto a las construcciones infladas a alta presión (++) inflated), su utilización se focaliza principalmente en usos estructurales, por lo que su difusión es menor frente a otras tipologías más comunes, como las infladas o soportadas a baja presión.

Relación entre las diferentes tipologías neumáticas documentadas		
(+) air-supported	185	27,90%
(+) inflated	412	62,14%
(++) inflated	47	7,09%
(+) inflated Tensairity®	13	1,96%
(-) deflateable	2	0,30%
(--) vacuumatic	4	0,60%
total	663	100,00%

Tabla.2 Relación entre las diferentes tipologías neumáticas documentadas. Tabla de elaboración propia

Analizando el porcentaje de tipologías documentadas, se observa que la mayor parte de los proyectos se corresponden a tipologías infladas a baja presión (62,14%), seguidas de las soportadas a baja presión (27,90%); mientras que las infladas a alta presión representan un porcentaje muy inferior (7,09%). Respecto a los proyectos documentados, tanto a presión negativa (0,30%) como al vacío (0,60%), su porcentaje es tan bajo, que los datos catalogados sólo se tendrán en cuenta de modo representativo de las principales características de estos sistemas; pero no se ha realizado un estudio en mayor detalle, por tratarse de tecnologías todavía muy incipientes.

4.-Conclusiones

La presente investigación ha permitido definir cualitativamente, la evolución de las tecnologías neumáticas aplicadas a la arquitectura y la ingeniería, desde las primeras patentes de carácter arquitectónico, hasta la actualidad.

Frente al estado actual de gran variedad de nomenclaturas, la discontinuidad de las publicaciones y la parcialidad en la temática de la mayoría de los estudios realizados en las últimas décadas; a través de la metodología empleada, ha sido posible estudiar pormenorizadamente los principales parámetros que definen estas tecnologías, interrelacionándolos y aportando, a su vez, un análisis global paralelo. De modo que el trabajo realizado, ha permitido establecer continuidad en los procesos documentación y estudio, de las innovaciones producidas en el ámbito de la tecnología de construcciones neumáticas. Para ello, se han definido, catalogado y analizado, un total de 663 proyectos; cada uno de los cuales, con interesantes aportaciones cualitativas respecto a los sistemas anteriores, al menos en uno de los seis principales parámetros de estudio. A través de la documentación de cada uno de ellos, se ha logrado establecer una base de datos interactiva y abierta, con más de 660 entradas parciales, que podrá seguir ampliándose indefinidamente.

A diferencia de las bases de datos actuales de carácter estático, la construcción de un sistema de carácter interactivo y abierto, facilita tanto los procesos de análisis pormenorizado y comparativo, asociados a cada una de las tipologías y parámetros de estudio; como la incorporación de nuevos datos, sin necesidad de modificar las entradas anteriores. De este modo, se pueden realizar lecturas no lineales sencillas, a través de clasificaciones diversas, como en función de su cronología, de su forma o del material empleado en la membrana. Este sistema de catalogación interactivo de propuestas, ha permitido la realización de un estudio crítico de la evolución de los sistemas de envolvente neumática, a través del análisis de los principales parámetros cualitativos que las definen: Parámetros proyectuales, funcionales, morfológicos, constructivos, climáticos y de confort y eficiencia energética. De este modo, se ha realizado un análisis pormenorizado de cada una de las categorías de estudio, lo que ha permitido establecer las relaciones existentes entre cada una de ellas.

Por otro lado, el diseño de la aplicación desarrollada para la base de datos, se ha realizado en paralelo con la definición de un modelo de fichas resumen asociadas a cada proyecto; de modo que se facilite la difusión de cada uno de estos sistemas. A través de la interrelación de datos, entre la base y las fichas, y la creación de un modelo tipo para todos los proyectos; se ha optimizado tanto la transmisión de datos, como la organización de la información de consulta.

REFERENCIAS

- [1] Otto, F. (1986). *Pneu und Knochen, 2. Anmerkungen zu IL 35 "Pneu und Knochen : Beiträge zum Kolloquium "Pneu und Knochen"*, p. 22, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- [2] Hidrostático, de hidro + estático. Hidro (Del gr. ὕδωρ-), significa agua. Estático (Del gr. στατικός), que permanece en un mismo estado, sin mudanza de él. AA.VV. (2009). *Diccionario de la Real Academia Española (RAE)*. 22 edición, Espasa-Calpe, Madrid.
- [3] Íbid.
- [4] Otto, F.; Trostel, R. (1962). *Zugbeanspruchte Konstruktionen: Gestalt, Struktur und Berechnung von Bauten aus Seilen, Netzen und Membranen / V. 1, Pneumatische Konstruktionen. Berechnung der membranen. Zugverankerungen im Baugrund*. Ullstein, Frankfurt.
- [5] Dent, R. (1971). *Principles of pneumatique architecture*, p. 15 Architectural Press, London.
- [6] Lecuyer, A. (2008). *ETFE. Technologie und Entwurf*, p. 17, Birkäuser, Basel.
- [7] Drüsedau, H.; Henicke, J. (1983). *Lufthallenhandbuch*, p.14, Kraemer, Stuttgart.
- [8] Bird, W. (1967). *Proceedings of the 1st International Coloquium on Pneumatic Structures*. Universität Stuttgart, Stuttgart.