



Cubiertas de rápido montaje para piscinas al aire libre

FÉLIX ESCRIG

DR. ARQUITECTO

JUAN PÉREZ VALCÁRCEL

DR. ARQUITECTO

JOSÉ SÁNCHEZ

DR. ARQUITECTO

Las piscinas son instalaciones cuya inversión sólo puede aprovecharse en verano y quedan fuera de uso en las restantes estaciones. Existen varias propuestas que en parte resuelven esta demanda y que extienden el uso de estas instalaciones todo el año. Existen varias propuestas, y de ellas hay dos tipos básicos si atendemos a la rapidez de montaje.

En este artículo vamos a descubrir un tipo especial que participa de las ventajas e inconvenientes de los dos sistemas y que puede ser una alternativa mejor en determinados casos.

Muchas instalaciones deportivas tienen su funcionamiento óptimo a cielo descubierto, en parte porque así lo demanda su actividad y en parte por economía. Pistas deportivas para baloncesto o tenis pueden utilizarse a pleno rendimiento en temporadas de buen clima y precisar alguna protección en momentos desapacibles. Las piscinas son instalaciones, sin embargo, cuya inversión sólo puede aprovecharse en verano y quedan fuera de uso en las restantes estaciones. Una solución económica que las llaga útiles en cualquier circunstancia podría ser una aportación valiosa.

Se han intentado varias propuestas que en parte resuelven esta demanda y que extienden el uso de estas instalaciones todo el año. De ellas hay dos tipos básicos si atendemos a la rapidez de montaje.

El primero se refiere a las de montaje inmediato por medio de sistemas automatizados, tales como toldos corredizos o cubiertas rígidas deslizantes. Tallibert, en 1967, con su cubierta de una piscina en París, hizo la primera propuesta de toldo retráctil en un mástil (figura 1). La solución, sin embargo, no fue especialmente eficaz y terminó abandonada. Lo mismo que lo ha sido por rotura la cubierta del estadio olímpico de Montreal y sólo tiene aplicación para sombra la plaza de toros de Zaragoza.

Las cubiertas rígida deslizantes tienen mecanismos mucho más efectivos y la complicación de rodamientos, boogües y articulaciones aprovechan las aportaciones de un mercado mucho más surtido y estudiado. Los sistemas telescópicos como el Ocean Dome en Japón para un complejo recreativo (figura 2) o los circulares como el Fukoaka Dome (figura 3) son extraordinariamente seguros y en versiones más simplificadas. Hasta existen empresas especializadas en España que las comercializan. Tienen el inconvenientes de su alto precio y el que necesitan unas zonas de plegado amplias, lo que redundará en instalaciones poco abiertas a pesar de que pueden descubrirse.

El otro gran grupo de soluciones lo constituye el de estructuras de rápido montaje a partir de piezas ensambladas de forma fácil por mano de obra semiespecializada.

En el caso particular de piscinas se utilizan las burbujas textiles que tienen el inconveniente de que precisan aportación permanente de presión y cerramientos muy estancos y las estructuras de arco que sostienen el textil como envoltorio protector. Los arcos pueden retirarse o dejarse instalados a lo largo de todo el tiempo puesto que no son especialmente molestos. Una ventaja de este tipo de estructuras es que son muy económicas, en torno a 15.000 pts/m² y fáciles de almacenar. Como inconveniente grave se encuentra su nula capacidad de aislamiento, su escasa inercia térmica y la condensación que se produce en su superficie salvo que se trate adecuadamente el aire interior con instrumentos que por su precio eliminan algunas de las anteriores ventajas económicas.



Figura 1
Piscina con cubierta retráctil. Tallibert

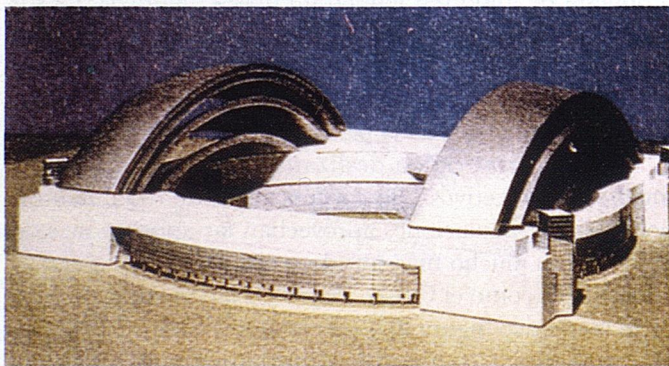


Figura 2
Ocean Dome. Shipyard



Figura 3
Fukuoka Dome. Takenaka

En este artículo vamos a descubrir un tipo especial que participa de las ventajas e inconvenientes de los dos sistemas y que puede ser una alternativa mejor en determinados casos.

CUBIERTAS DESPLEGABLES DE ASPAS

En 1961, Emilio Pérez Piñero, estudiante de arquitectura, construyó una maqueta de una cúpula que podía transportarse como un haz de barras compacto y abrirse como un paraguas para dar una geometría esférica que llevaba incluida, a la par que la estructura, el cerramiento. De una forma muy rápida, se pasaba de un paquete a un edificio. Él aplicó el procedimiento a varias propuestas reales y hubiera podido convertirse en uno de los proyectistas más universales de no morir joven.

El sistema se basaba en el juego geométrico de tres barras conectadas por una articulación central que, utilizadas como módulo básico, podían conectarse a otros módulos similares con movimiento solidario (figura 4). Si las barras de estos módulos cumplen determinadas condiciones geométricas, la superficie de desplegado puede ser plana, cilíndrica, esférica o de características más complejas¹.

Pérez Piñero ensayó también con mecanismos de cuatro barras conectadas a un nudo interior y también consiguió algunas construcciones memorables. Desde 1972, fecha de su muerte, hasta 1980, sin embargo, nadie siguió el camino abierto en el campo de las aspas espaciales y ni la NASA, que estaba invirtiendo fabulosas cantidades en investigación de estructuras desplegables, ni alguno de los conocedores de la obra de Piñero, sea Fuller, el grupo Archigram, Frei Otto o los arquitectos de la High Tech, hicieron propuesta alguna en este sentido. Es Santiago Calatrava quien en su Tesis "Sobre la desplegabilidad de entramados espaciales" de 1980 vuelve a plantear con una metodología rigurosa y exhaustiva el análisis de mecanismos de barras a partir de formas poliédricas (figura 5). El catálogo de soluciones que expone es muy amplio y llama la atención el poco partido que tanto el autor como otros proyectistas o investigadores hall sacado de un trabajo tan completo. Quizás el haber estado escrita en alemán ha sido un freno y esperamos que después de la traducción que hemos publicado al castellano y la que próximamente se hará al inglés se retome un cierto interés en avanzar ese camino². De todos modos, los entramados desplegables de aspas triples y cuádruples son de excesiva complejidad cinemática y precisan de nudos con grandes dimensiones. También desde 1980 el norteamericano Ziegler y los autores de este trabajo comenzamos a estudiar las mallas de aspas simple, es decir, formadas por sólo dos barras, y sus composiciones espaciales. Ziegler desarrolló fundamentalmente un pequeño panel de exposiciones cilíndrico, ahora

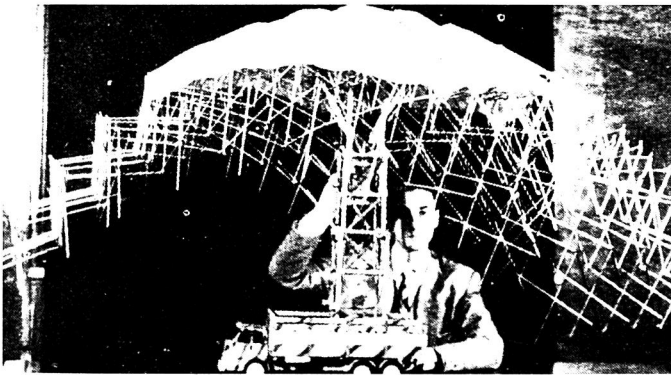
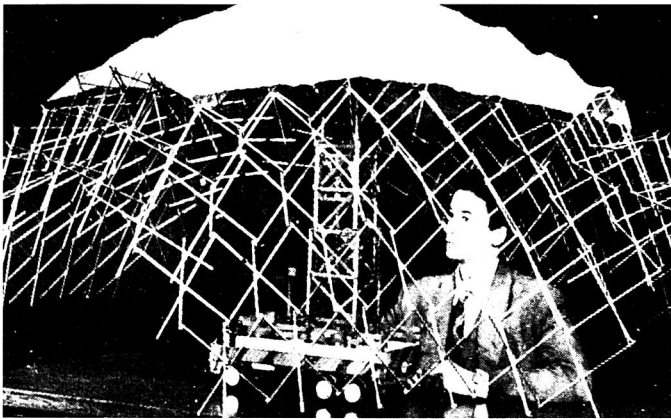
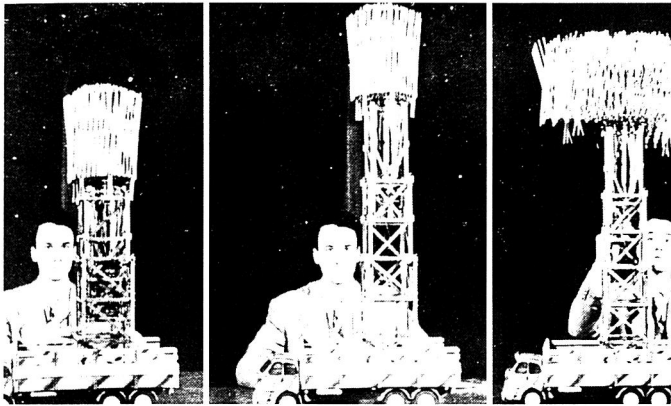


Figura 4. Primera cúpula desplegable. Emilio Pérez Piñero

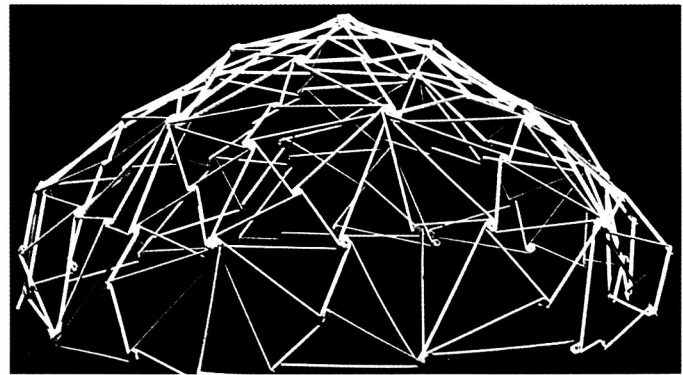
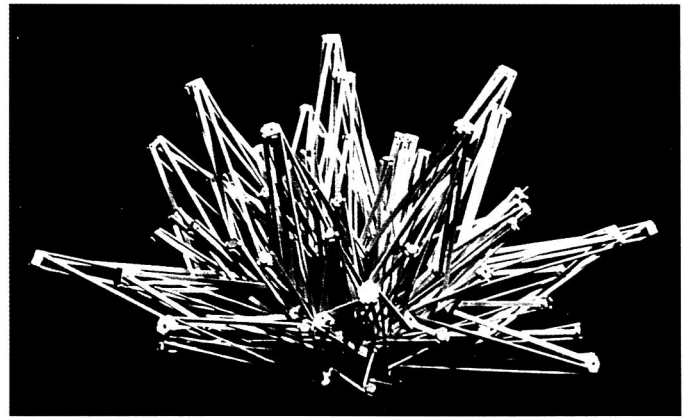
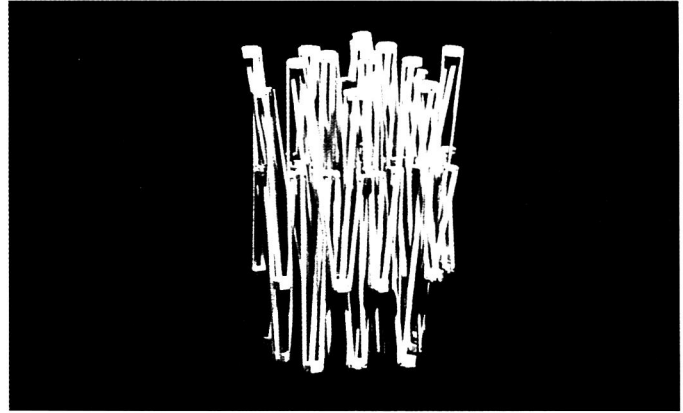


Figura 5. Primera cúpula desplegable. Emilio Pérez Piñero

muy en boga, y una pequeña cúpula geodésica, pero nunca trabajó en la gran escala³. En el III Congreso Internacional de Estructuras Espaciales de Surrey, el que cada nueve años organiza el Instituto de Estructuras Ligeras de la mano del profesor Makowski, aparecieron los dos primeros artículos publicados sobre esta tipología, el de **Clarke**, demostrando la **imposibilidad** del funcionamiento de este tipo de mallas, y el de **Escrig**, con una catalogación amplia de las estructuras de aspa. Comienza entonces una fiebre en distintos Centros de Investigación por el estudio de una tipología que sobre el papel eran

enormemente prometedoras: **Zalewsky** en el MIT, **Hernández** en el IDEC de Venezuela, **McNulty** en el Politécnico de Dublín, **Pellegrino** en el Departamento de Ingeniería Civil de Cambridge, **Nooshin** en el Instituto de Estructuras Ligeras de Surrey, **Puertas** en la **ETSA** de Madrid. Los resultados prácticos han sido decepcionantes. Mucho papel y muy pocas realizaciones, apenas unos modelos de relativa relevancia por **Hernández** y nosotros mismos y estímulo a una nueva hornada de investigadores sobre el tema: **Gantes** del Departamento de Ingeniería Civil de Atenas, **Kawaguchi** hijo, de la Uni-

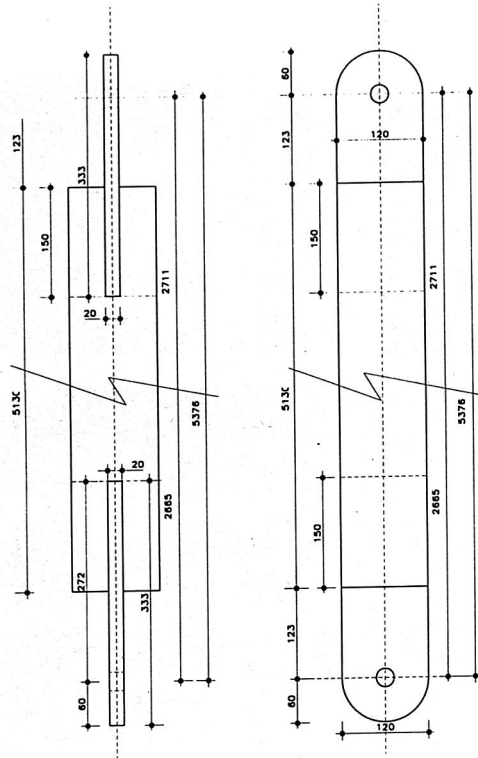


Figura 6. Elemento barra de tubo circular

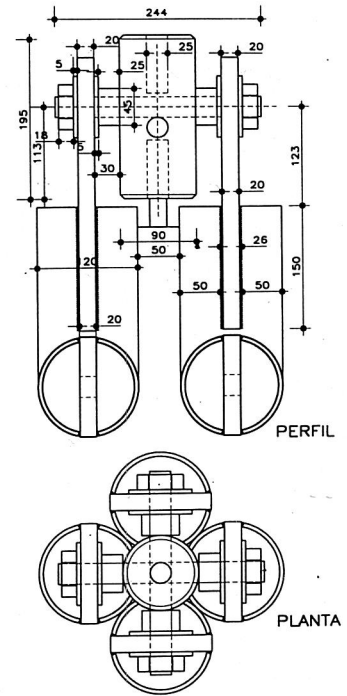


Figura 7. Elemento nudo para mallas desplegables

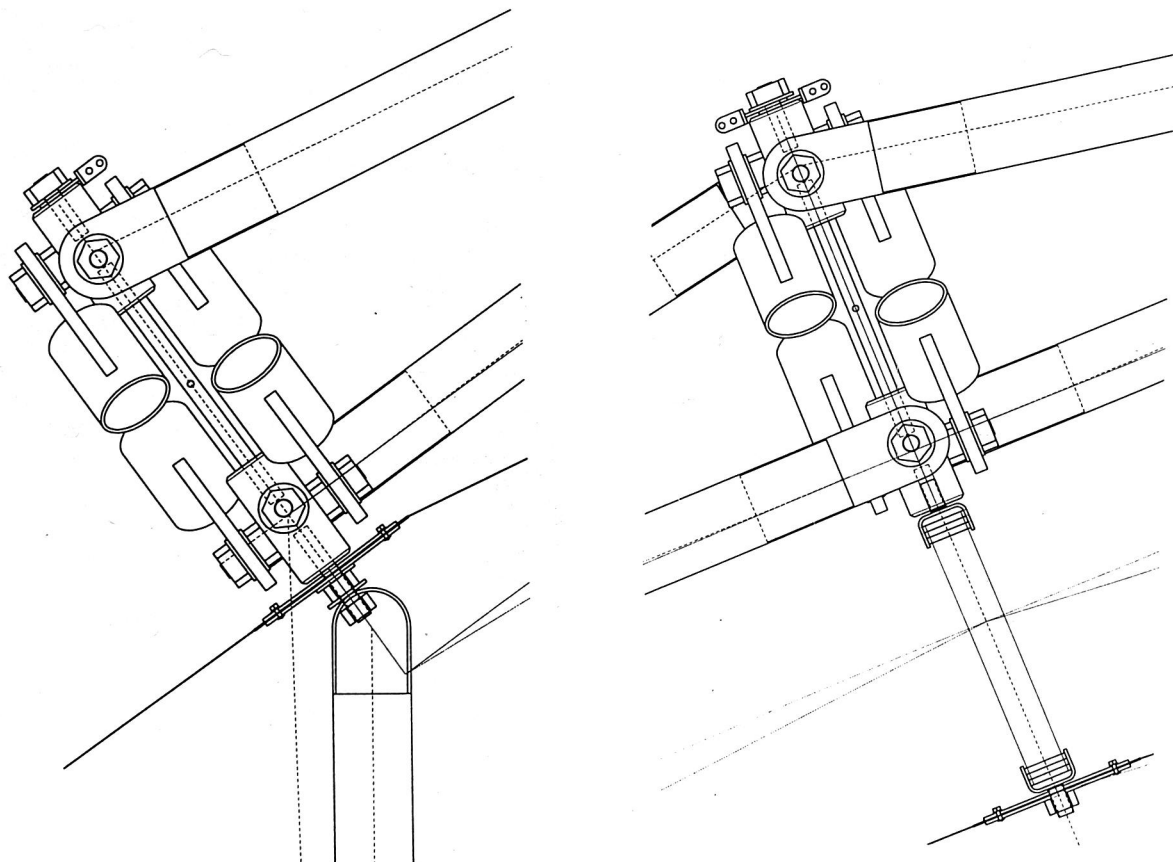


Figura 8. Funcionamiento del nudo de una malla desplegable

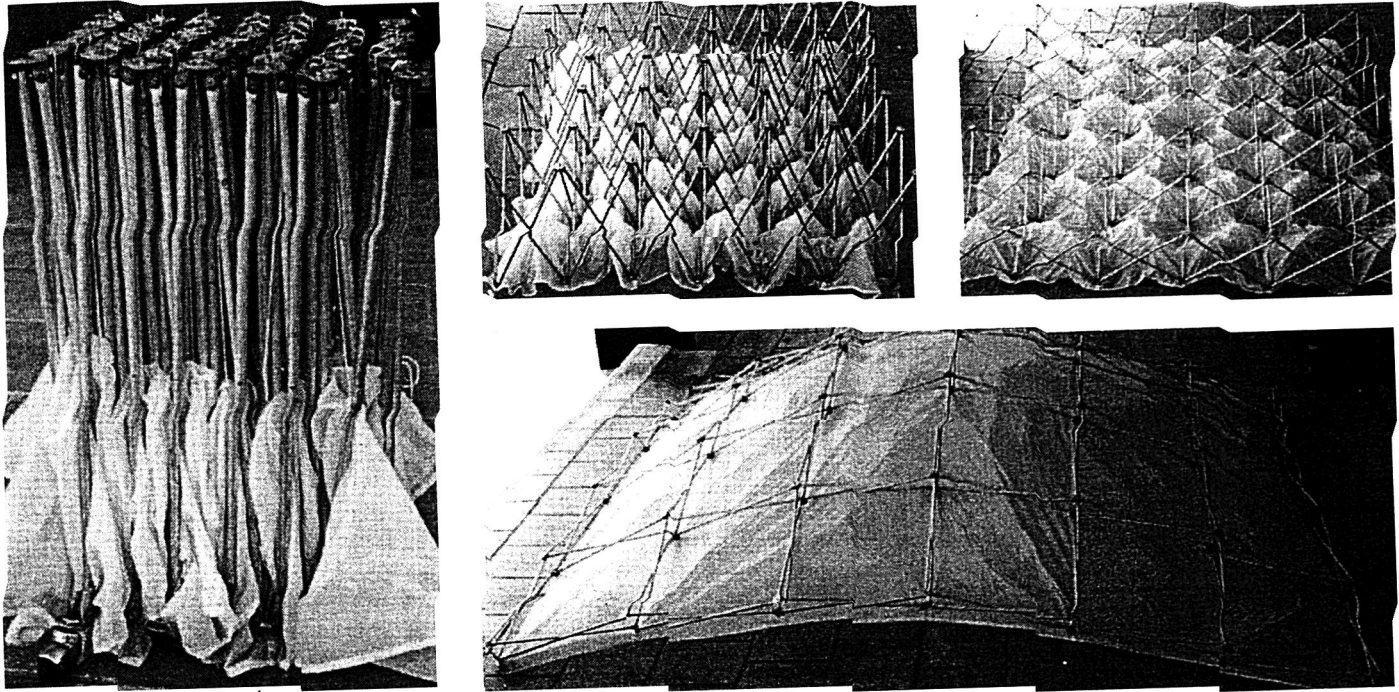


Figura 9. Plegado automático del textil en una malla extensible

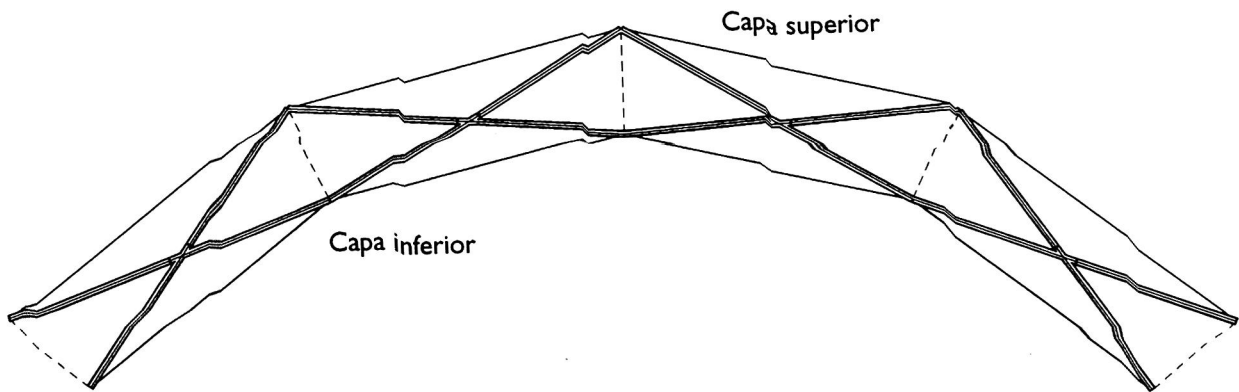


Figura 10. Posición del textil en una malla despegable

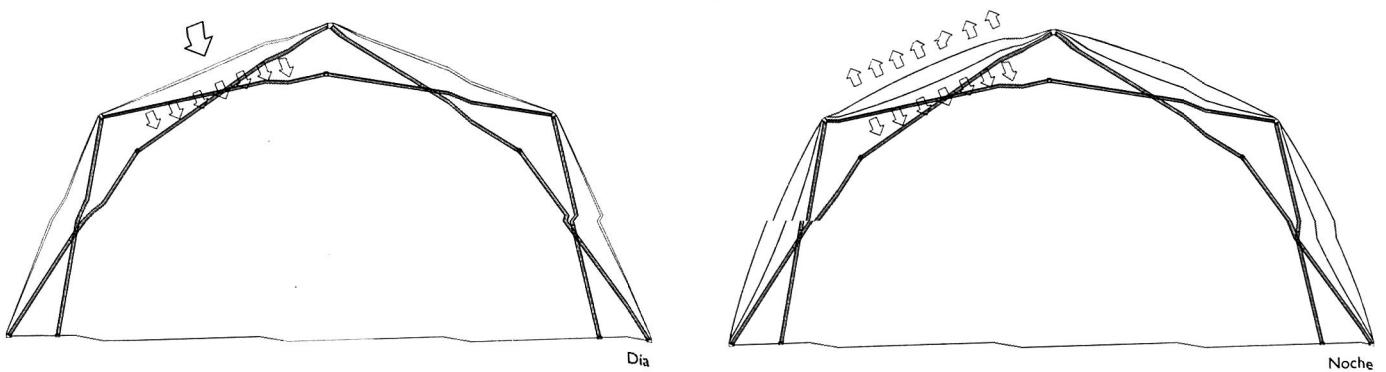


Figura 11. Sistema de doble membrana inflable para protección y captación térmica

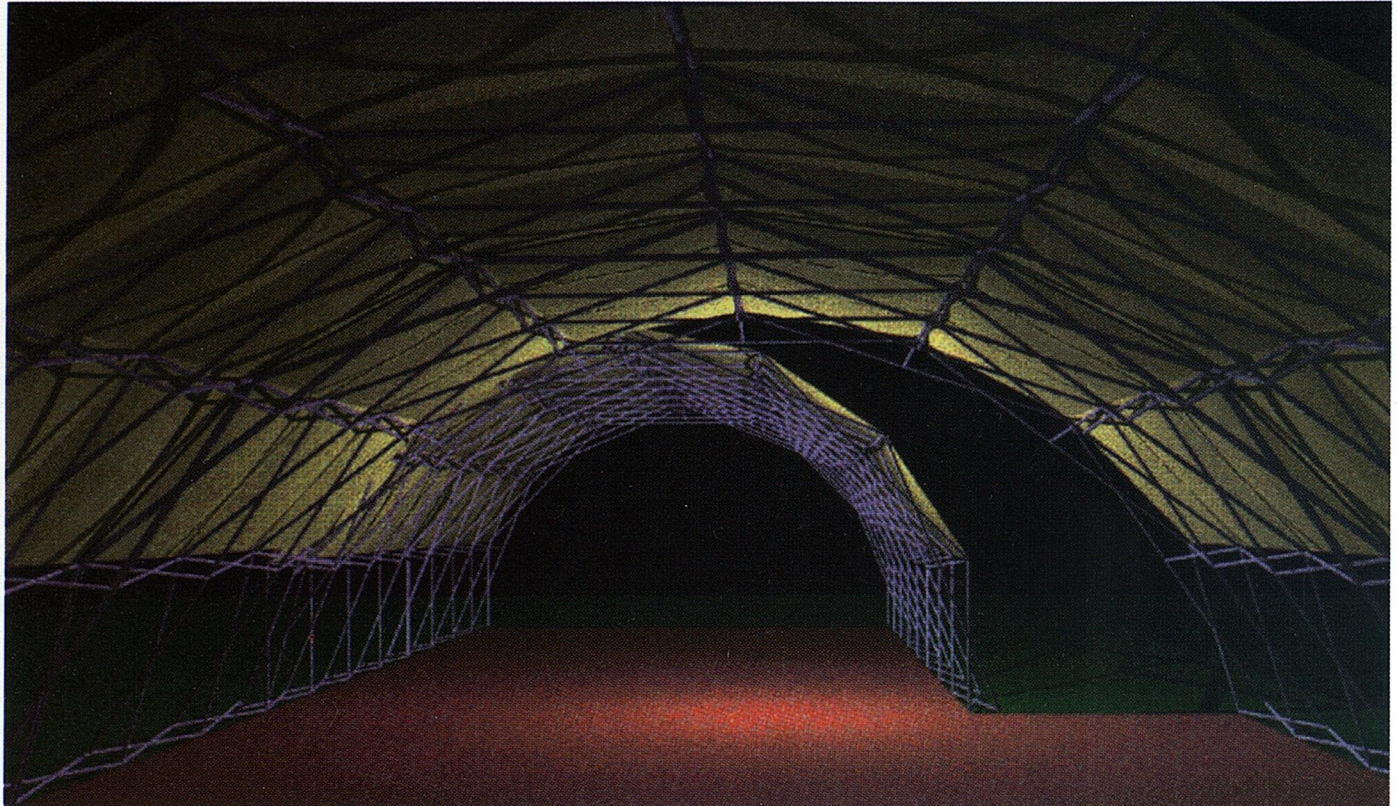


Figura 12. Composición de mallas cilíndricas

versidad de Tokyo; **Sánchez Cuenca**, de la Politécnica de Gerona; **Hoberman** en Nueva York. Las razones de tan poco fruto son la dificultad del análisis de esfuerzos y deformaciones, la complicación del establecimiento de la geometría, la gran deformabilidad de estas estructuras, la complejidad de las soluciones constructivas y la impermeabilidad del mercado a las innovaciones.

En ese sentido las razones de este artículo son las de replicar estas perspectivas negativas.

En cuanto al análisis, se ha elaborado un programa de cálculo que permite introducir todas las variables que pueden darse en nuestro problema^{2y4}.

En cuanto a la obtención de las geometrías en los distintos estados, se han desarrollado métodos de obtención de las longitudes y representación animada de la evolución durante el plegado y desplegado con sofisticados programas de ordenador^{5y6}.

En cuanto a la deformabilidad, es cierto que durante los pasos intermedios, las barras se ven sometidas a unos estados que son los peores de su vida activa, sobre todo porque trabajamos con deformaciones impuestas. Ello nos aconseja utilizar materiales de bajo módulo de elasticidad: aluminio, madera, fibras, etc. Las flechas que sufre el conjunto por las acciones exteriores también son importantes, aunque hay dispositivos que las

minimizan Pero ello no es obstáculo para la utilización de la estructura.

En cuanto a la complejidad de las soluciones constructivas, es sólo cuestión de imaginación y diseño y debemos tener en cuenta que las mejores soluciones siempre son las más sencillas. Algunos de nuestros éxitos se basan en proponer sistemas obvios en lugar de retorcerlos en busca de alta tecnología.

Conseguir clientes para unas propuestas tan sofisticadas tiene sus dificultades, pero afortunadamente la administración está en manos de expertos cada vez más profesionalizados. En cuanto al pequeño cliente, para este tipo de estructuras hay que ofrecérselo como una propuesta de diseño industrial totalmente terminado, garantizado y sin riesgo económico para él.

Solamente así tendrán penetración estas formas y así es como lo planteamos.

EJEMPLOS PRÁCTICOS DE CUBIERTAS DESPLEGABLES DE ASPAS SIMPLES

La simplicidad que hemos citado como fundamental para la eficacia de este tipo de estructuras la basamos en dos decisiones clave de tipo práctico: barras iguales y de igual longitud y nudos de gran simplicidad y que permiten la



concurrancia de sólo cuatro barras en ellos. Con esto y la articulación excéntrica en cada aspa podemos obtener dos figuras básicas que hemos utilizado con profusión.

Antes de pasar a la descripción de estos modelos explicamos las características de los elementos constitutivos.

Utilizamos barras de tubo circular hueco terminados en pletinas perforadas en donde vayan a ser vinculados a los nudos (figura 6). Los nudos serán casquillos macizos con dos perforaciones transversales a distinto nivel para permitir la formación de la cruceta para la articulación de las banas (figura 7). En el sentido longitudinal también se perforará para conectar elementos complementarios como cubierta, tirantes, tensores o soportes (figura 8).

La cubierta podrá vincularse por la cara exterior a los nudos superiores o por la inferior a los inferiores. La cubierta no tendrá papel estructural, pero servirá de estabilizador angular, naciendo que los recuadros de la estructura no cambien arbitrariamente su geometría. Para evitar la complicación que supondría instalar la cubierta una vez la estructura terminada se utiliza un mecanismo de plegado integrado en la malla de modo que el cerrado de la estructura ayude al del propio textil, tanto si se sujeta por la cara superior en que por gravedad tendería a empaquetarse como por la interior, mediante unos cables que la fuerzan geoméricamente (figura 9).

La cubierta textil puede situarse simultáneamente en ambas caras de la mano con lo que obtendríamos una doble pared que ayudaría en el aislamiento del recinto (figura 10). Pero no solamente esto. Incluso situándola por sólo una cara podríamos, en el caso concreto de cubierta de piscinas para temporadas invernales, utilizar un doble film reforzado que permitiera captar las radiaciones solares mediante el efecto invernadero durante el día y, mediante inflado con aire caliente durante el resto del tiempo de la capa entre las dos hojas para crear un colchón con inercia térmica, frenar el rápido enfriamiento del volumen interior de aire, así como evitar las condensaciones que en el caso de piscinas son muy ácidas (figura 11). Con un pequeño equipo calefactor y de presión se puede mantener un gran recinto cerrado, e incluso ayudar en parte a mantener la temperatura del agua del vaso.

CUBIERTA CILÍNDRICA

Todas las aspas son de la misma longitud y concurren en los nudos con un ángulo constante de 90° entre sí (figura 12). Las aspas que conforman los arcos tienen la articulación excéntrica por lo que al abrir dan una forma curva, mientras que las que forman las directrices tienen la articulación centrada (figura 13). El resultado es de gran simplicidad pero enormemente resistente. En la figura 14 se muestra un proyecto para cubrir una

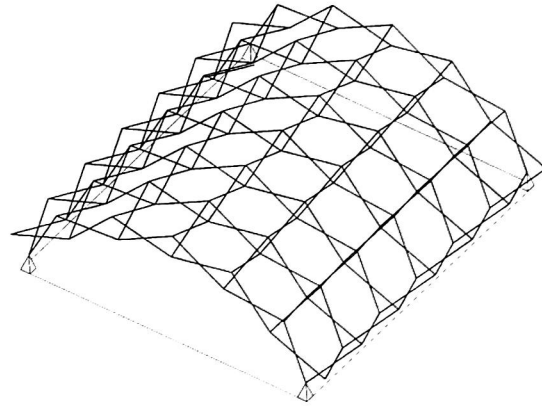


Figura 13. Malla cilíndrica de módulos rectangulares

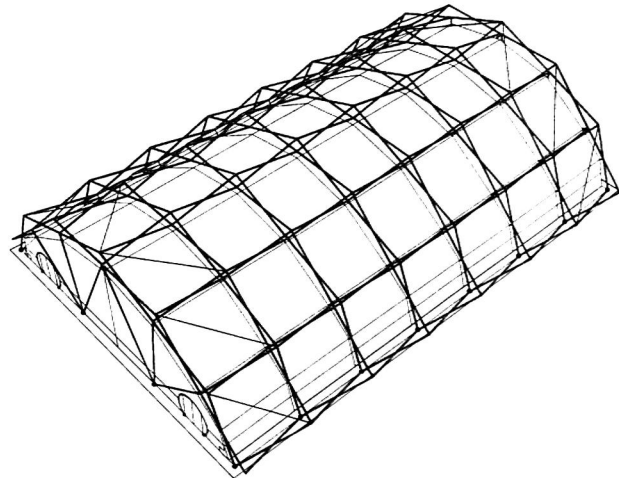


Figura 14. Cubierta de una piscina con malla cilíndrica

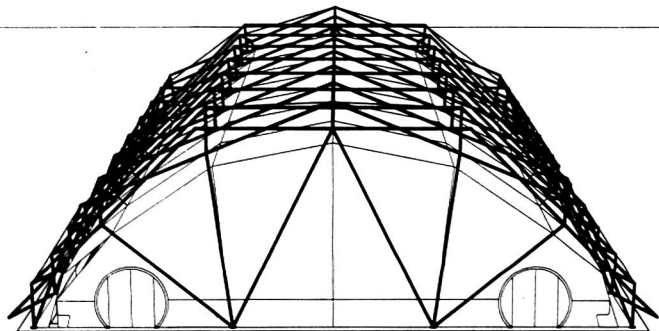


Figura 15. Solución de los tímpanos de una malla cilíndrica

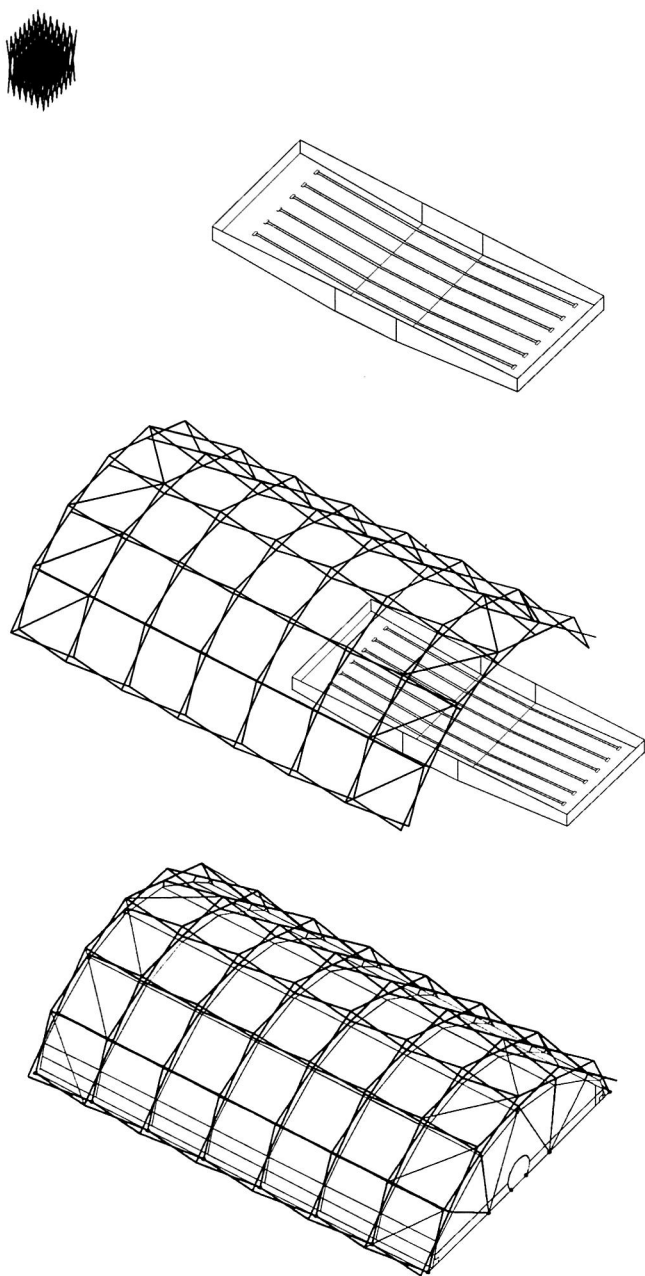


Figura 16
Proceso de montaje de una malla cilíndrica para una cubierta de una piscina

piscina de $25 \times 12 \text{ m}^2$ con el textil situado por la cara interior. La parte más débil de este diseño es la que corresponde a los tímpanos y es por eso que emplazamos en esos los accesos y una estructura soporte especial (figura 15) La deformación angular de los recuadros se evita a posteriori mediante el añadido de más barras diagonales en perímetro. La figura 16 muestra el proceso de montaje. En la referencia 2 se detallan algunas propiedades de estas cubiertas.

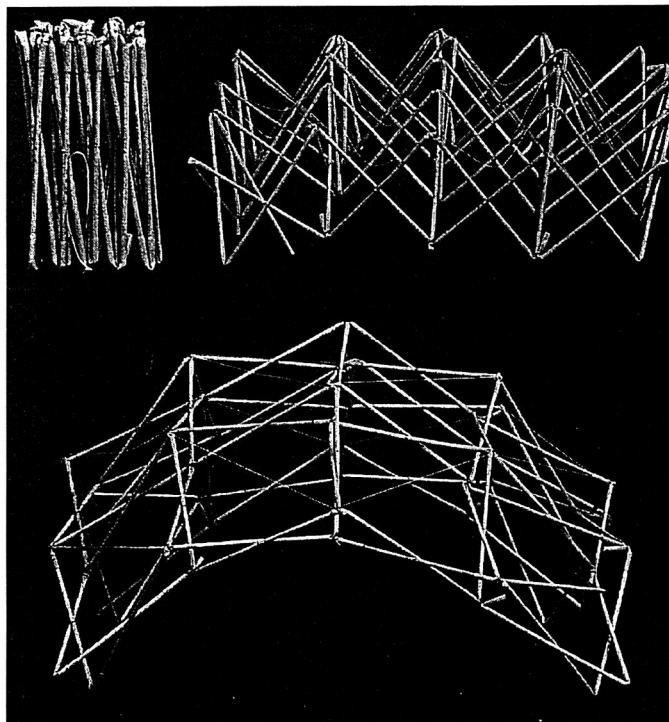


Figura 17. Modelo reducido de malla desplegable para cubierta esférica

CUBIERTA ESFÉRICA

En este caso no solamente utilizamos todas las barras iguales, sino también la excentricidad de las aspas es la misma. Ello motiva que durante el desplegado el paquete compacto evolucione en forma de superficie esférica. En la figura 17 se muestra este funcionamiento en un modelo reducido para una planta cuadrada.

Una de las ventajas de esta geometría es que los nudos de cada fila están sobre un mismo plano, por lo que es posible conectar varias cubiertas entre sí en forma modular. Es lo que hacemos en la solución de la figura 18 utilizada para cubrir una piscina olímpica de $50 \times 25 \text{ m}$. En las figuras 19 y 20 se muestra la cubierta realizada mientras que en las figuras 21, 22 y 23 se aprecia la secuencia del montaje. Los detalles de este proyecto pueden consultarse en artículos específicos publicados que aparecen en las referencias 7 y 8.

En la práctica encontramos que la conexión entre los dos casquetes es compleja, por lo que en un proyecto posterior optamos por separarlos. Es lo que proponemos para la cubierta de las dos piscinas semiolímpicas de un Hotel en la Coruña en donde, además, no utilizamos casquetes cuadrados sino alargados (figuras 24 y 25).

Las soluciones citadas en casquete esférico tienen un problema equivalente al de los tímpanos cilíndricos. Todos los nudos periféricos o no apoyan o lo hacen sobre soportes adicionales complicando así el montaje. Igualmente hay que reforzar los recuadros de borde con barras dia-

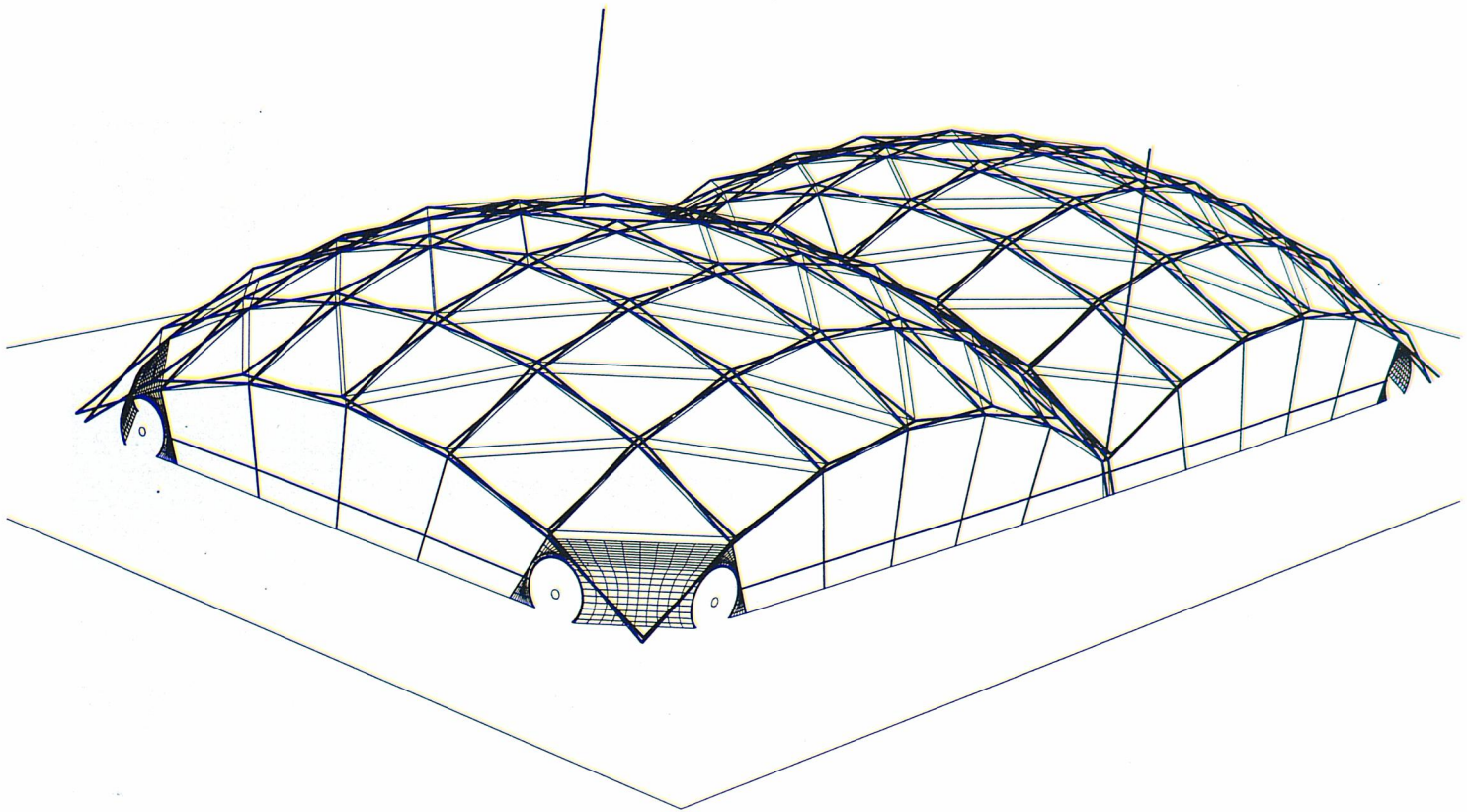


Figura 18.
Modelo de ordenador de cubierta de Piscina Olímpica



Figura 19 y 20. Vistas exterior e interior de la cubierta de una piscina realizada

gonales que se emplazan a posterior y por tanto retrasan la puesta en uso.

CUBIERTA OVAL

Este problema podemos evitarlo renunciando a uno de nuestros supuestos iniciales, el de barras todas iguales.

Si partimos de formas cilíndricas que se rematan en sus tímpanos con alguna geometría decreciente, sea esféri-

ca, cónica o cualquiera otra, tendremos el modelo de la figura 26 para el que utilizamos cuatro tipos de barras distintos. Con esta forma de tímpano disminuye notablemente de superficie y puede reducirse estrictamente al tamaño del acceso. El modelo citado corresponde a una patente que hemos comercializado para pequeñas piscinas, del orden de 10×5 m (figura 27).

La figura 28 muestra un modelo a escala 1:10 de la cubierta correspondiente a una piscina semiolímpica.

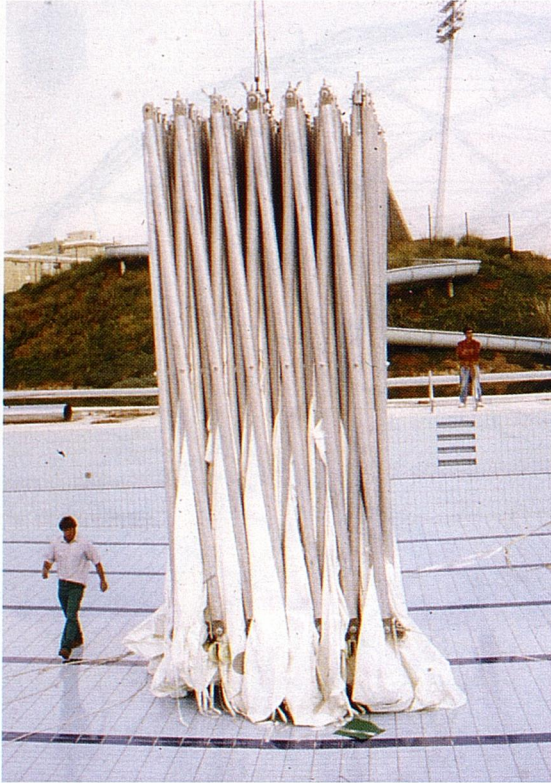


Figura 21
Montaje de la cubierta anterior. Primer módulo antes del despliegue

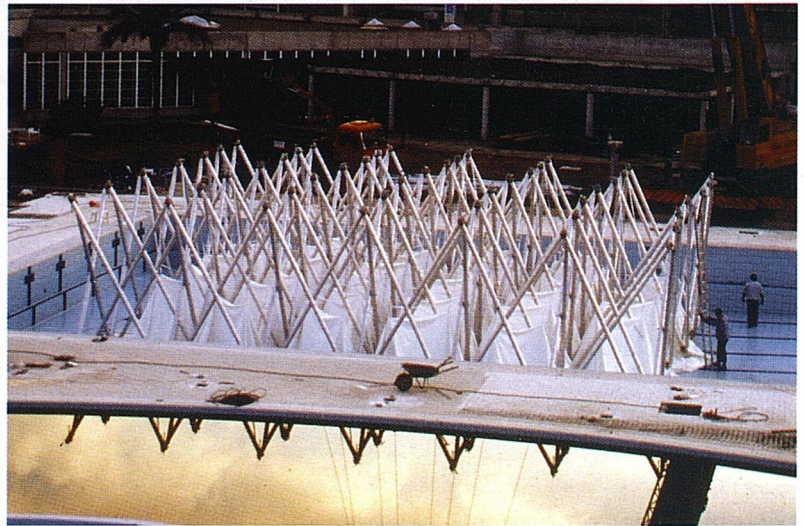


Figura 22
Segundo módulo durante el despliegue

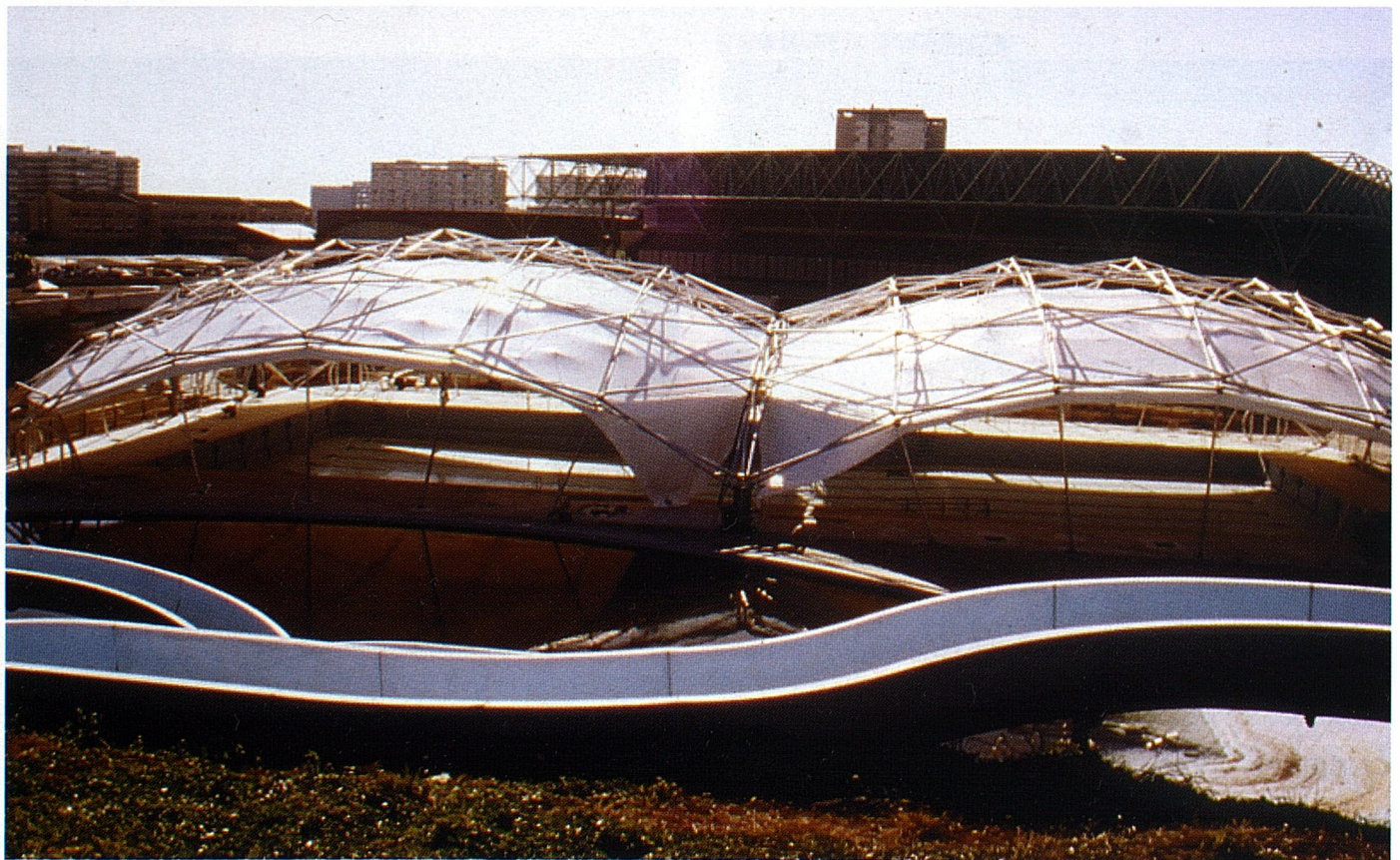


Figura 23. Desplegado completo de dos módulos

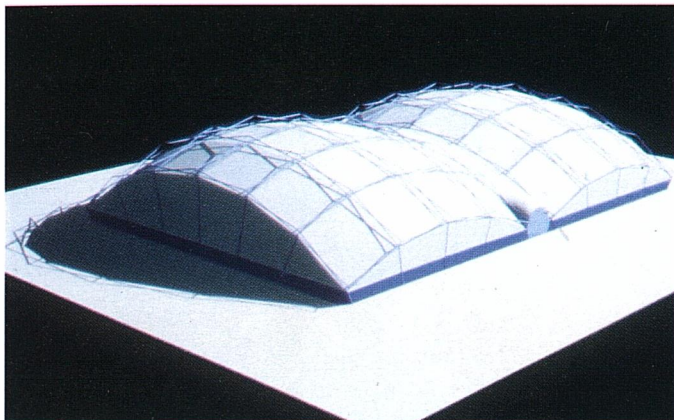


Figura 24
Vista exterior de una cubierta para dos piscinas en La Coruña

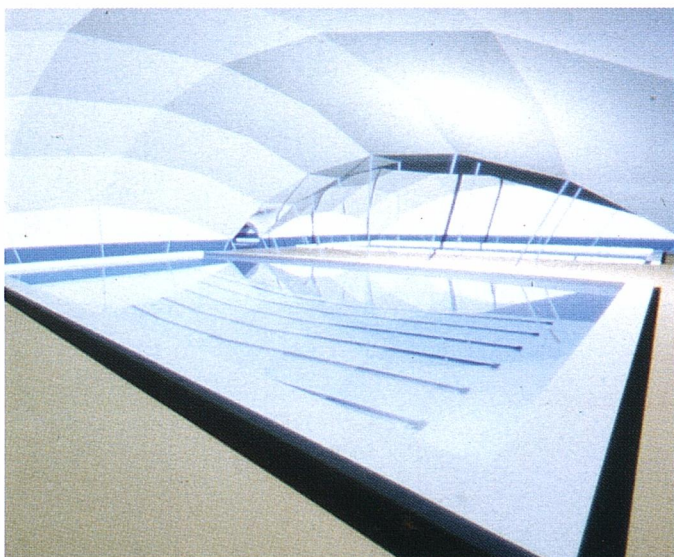


Figura 25
Vista interior del mismo recinto

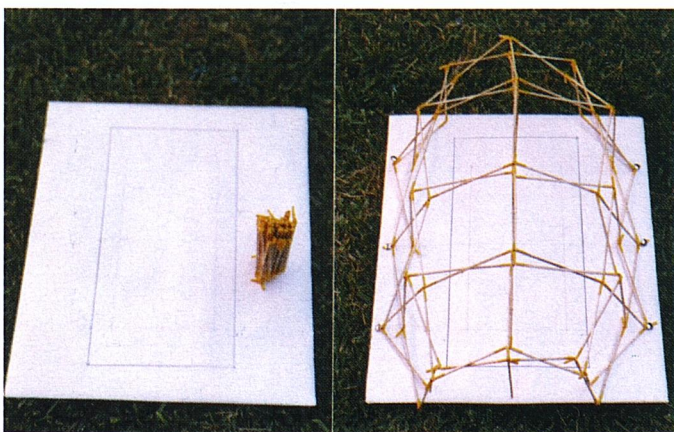


Figura 26
Modelo reducido de la cubierta de una piscina familiar

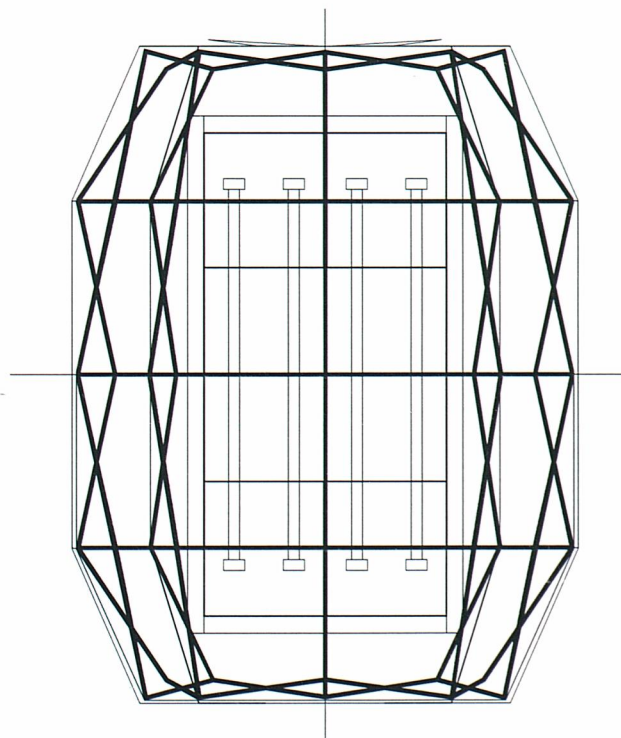
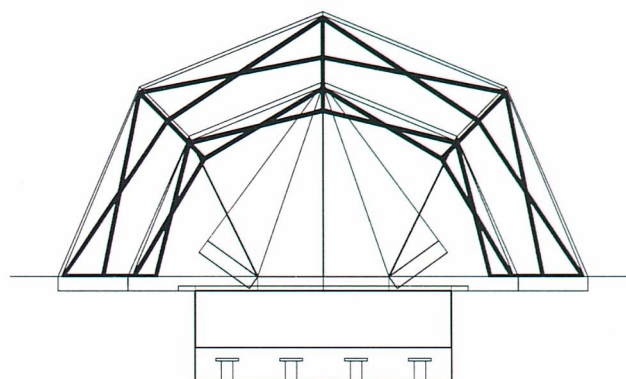
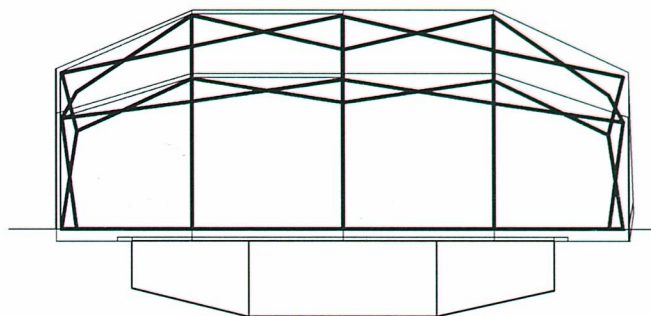


Figura 27
Esquema de la malla para una piscina semiolímpica

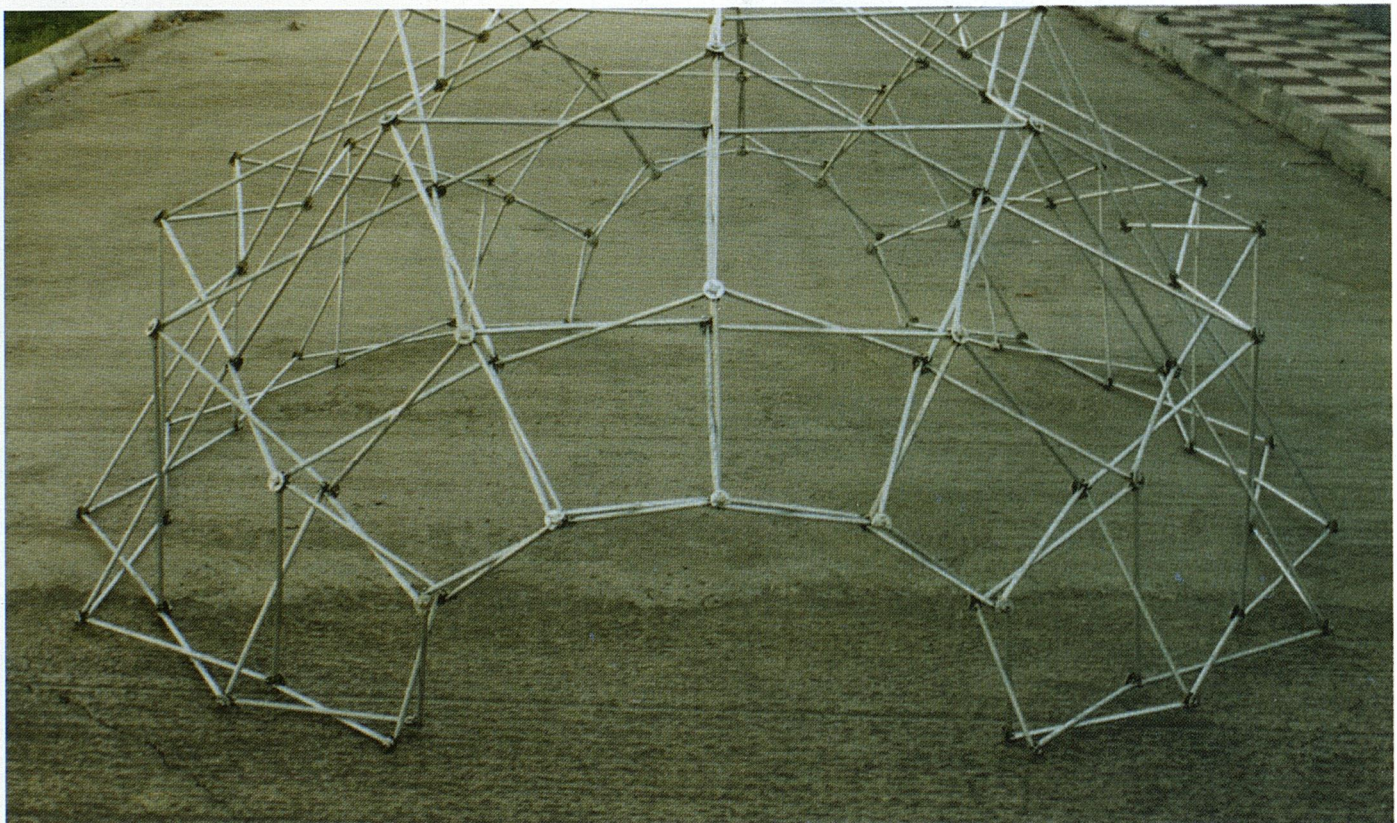
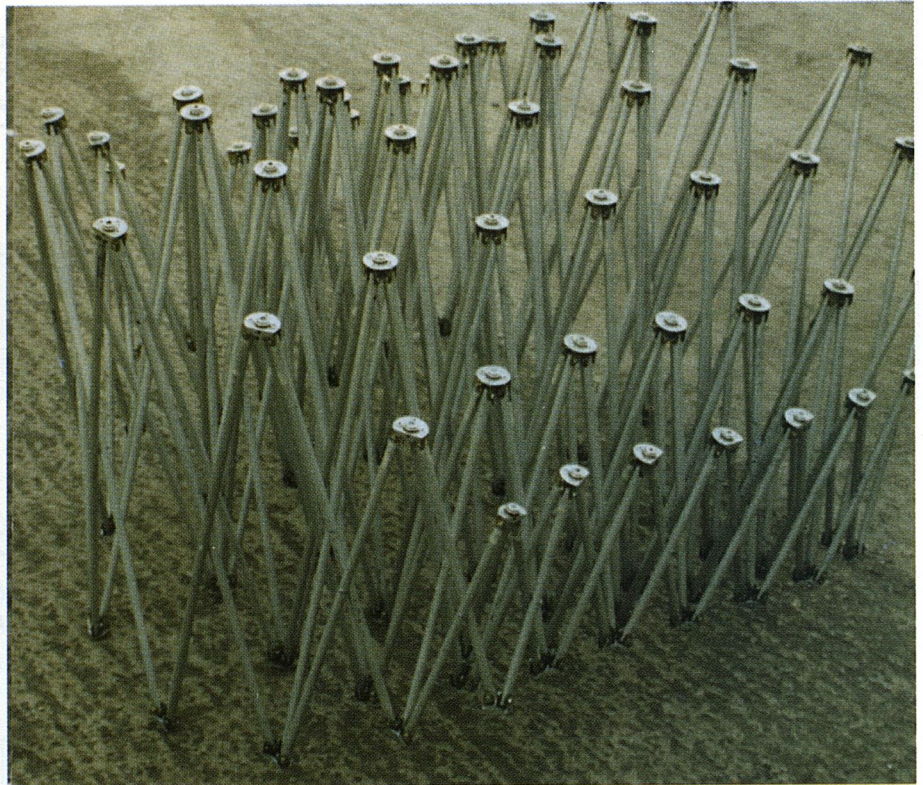


Figura 28
Modelo a escala de cubierta oval para una piscina semiolímpica



En el caso de este tipo de mallas evitamos todos los problemas citados anteriormente:

- a. No necesitamos soportes complementarios en el perímetro.
- b. Tenemos tímpanos de reducidas dimensiones aunque las luces a cubrir sean grandes.
- c. No es necesaria la colocación de barras diagonales para rigidizar la estructura puesto que su estabilidad se produce por su propia geometría y la conexión al suelo de los nudos de borde.
- d. Consecuencia de ello es que el montaje puede hacerse en plazos impensables para cualquier otro tipo de estructura móvil o de rápido montaje.

CONCLUSIONES

Desde la primera y única cubierta de aspas que Pérez Piñero utilizó como aplicación práctica hasta la piscina de 1.800 m² citada han pasado treinta años. La tecnología ha evolucionado mucho y los auxiliares de diseño más aún. Es el momento de aplicar con más intensidad un invento de origen claramente español. La Escuela de Arquitectura de Sevilla, en colaboración con el Wessex Institute of Technology de Southampton (U.K.) desarrollarán en Junio del 96 el Congreso MARAS'96 (Mobile and Rapidly Assembled Structures) en el que esperamos pueda hacerse un balance más completo de los grupos de investigación que internacionalmente trabajan en el tema.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado con la colaboración inestimable de personas que no firman el artículo (José Antonio Morales Pérez, en la animación por ordenador y Vicente Sánchez en la Construcción y ensayo de modelos), empresas que han trabajado casi desinteresadamente (Volumen Internacional, S.A.) y empresas que han cofinanciado la investigación (Dragados y Construcciones, con medios financieros y de infraestructura ilimitados y ARSIN, con el compromiso de comercialización)

En cuanto a las instituciones oficiales, la Junta de Andalucía a través de las consejerías de Industria y del Plan Andaluz de Investigación ha sido todo lo generosa que sus medios le permitían ser. La DGICYT en su momento también nos proporcionó un gran impulso y su reconversión al CAICYT ha sido lamentable, puesto que han excluido la Arquitectura de sus prioridades en lo que equivale a una cooptación entre los profesionales de la evaluación, en donde, obviamente, no hay arquitectos.

BIBLIOGRAFÍA

1. PÉREZ PIÑERO, E., DALI, S. Y OTROS: LA OBRA DE EMILIO PÉREZ PIÑERO. REVISTA DE ARQUITECTURA, Nº 163-164. JULIO-AGOSTO. 1972. MADRID, PP. 1-28.
2. CALATRAVA, S., ESCRIG, F. Y PÉREZ VALCARCEL, J.: ARQUITECTURA TRANSFORMABLE. FUNDACIÓN CENTRO DE FOMENTO DE ACTIVIDADES ARQUITECTÓNICAS. E.T.S.A DE SEVILLA.
3. HERNANDEZ, C.: DEPLOYABLE STRUCTURES. MASTER'S THESIS MIT. DEP. OF ARCHIT. 1987.
4. ESCRIG, F. Y PÉREZ VALCARCEL, J. "INTRODUCCIÓN A LA GEOMETRÍA DE ESTRUCTURAS DESPLEGABLES DE BARRAS". BOLETÍN ACADÉMICO DE LA E.T.S.A DE LA CORUÑA, Nº 3. LA CORUÑA, 1986. PP. 4G-57.
5. ESCRIG, F. Y PÉREZ VALCARCEL, J.: GEOMETRY OF EXPANDABLE SPACE BAR STRUCTURES. SPACE STRUCTURES INTERNATIONAL JOURNAL. MULTISCIENCE PUBLISHING CO. LTD. VOL. 8. Nº 1 Y 2. 1993.
6. MORALES, J.A., SANCHEZ, J. Y ESCRIG, F.: REAL TIME ANIMATION OF ARCHITECTURAL MOBILE ELEMENTS. VISUALIZATION AND INTELLIGENT DESIGN IN ENGINEERING AND ARCHITECTURE II. COMPUTATIONAL MECHANICS PUBLICATIONS. LA CORUÑA, 1995. PP. 175-182.
7. ESCRIG, F., PÉREZ VALCARCEL, J. Y SANCHEZ, J.: ARQUITECTURA MÓVIL Y DE RÁPIDO MONTAJE. IER CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA. E.T.S.A MADRID, 1994. PP. 53-62. TOMO II.
8. ESCRIG, F. Y PÉREZ VALCARCEL, J.: FOLDABLE STRUCTURES WITH TEXTIL COVERING. TECHTEXTIL SYMPOSIUM'94. FRANKFURT. JUNIO, 1994.