

MALLAS Y ENTRAMADOS PARA LA ARQUITECTURA

Gómez de Cózar, J.C. (1)*, Ariza López, I. (1), Benítez Bodes, R. (2)

(1)Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Universidad de Sevilla, España;

(2) Universidad de Sevilla, España

(*)gcozar@us.es

ABSTRACT

B. Fuller opinaba que cuanto más ligero es un edificio más eficiente es su diseño.

Desde hace más de una década venimos trabajando en el desarrollo de prototipos arquitectónicos que puedan construirse de forma rápida, utilizando materiales ligeros y, por lo tanto, sostenibles.

En este proceso se han utilizado fuentes de todo tipo:

- La Historia de la Construcción como fuente para el análisis de tipos constructivos de todas las épocas. A partir de esta fuente de conocimiento hemos podido contextualizar formas antiguas en modelos contemporáneos.
- Nuevos materiales y de procedimientos constructivos. El motor fundamental ha sido la búsqueda de formas propias para cada material a partir de su abanico completo de posibilidades.
- Procedimientos y tipologías constructivas consideradas efímeras. Hemos podido constatar cómo muchos sistemas de los considerados temporales, utilizan procedimientos constructivos más avanzados que los considerados permanentes, ya que al estar pensados para montarse y desmontarse un número enorme de veces cualidades como ligereza, resistencia, durabilidad, etc., están muy desarrolladas.

El proceso seguido ha tenido resultados materializados en Tesis Doctorales (una terminada y cuatro en preparación), docencia de grado, docencia de libre configuración de una asignatura específica denominada Desde el Detalle: Invenciones en Arquitectura, patentes (una ya firme denominada Estructura Desplegable de dos capas resuelta con malla de rombos y aspas multianguladas; otras dos patentes más en preparación), desarrollo de software específico (programas de cálculo, de generación automática de geometrías, de modelizado y patroneado en membranas, de composición y montaje para construcciones efímeras para espectáculos, etc.), contratos y convenios con empresas y realizaciones arquitectónicas (edificios públicos permanentes de rápido montaje).

La comunicación preparada desglosa e ilustra cada uno de los resultados obtenidos poniendo de manifiesto el proceso seguido en cada caso.

1 Punto de partida

R. Buckminster Fuller decía que cuanto menos pesa un edificio más sofisticado es. Así, como conclusiones a lo anterior, podríamos añadir también que tardará menos en construirse y, en la medida de lo posible, siendo sensatos, será más *ecológico*.

Aunque parezca un sinsentido, las afirmaciones anteriores no son tenidas en cuenta por la arquitectura, fundamentalmente porque la disciplina arquitectónica hace ya tiempo que tiende a separarse de las supuestas ciencias que posibilitan la construcción de un edificio. Esto provoca que cuando se define un espacio (que obviamente posibilita un uso) éste queda desvinculado de los elementos físicos que realmente lo definen, con lo que el trabajo arquitectónico queda desnaturalizado y naufragando en el campo de las ideas teóricas (necesarias pero insuficientes).

En todo caso, el proceso constructivo de un edificio es un hecho complejo debido a la cantidad de agentes que intervienen. Vivimos un momento en el que el desarrollo tecnológico ha llegado a un nivel que debería propiciar, desde un punto de vista teórico, una calidad, hasta ahora desconocida, en las obras construidas. Sin embargo, en la práctica, esto no es así.

Hay multitud de factores, y no todos económicos, que provocan que las soluciones construidas no respondan a lo que se pretendía de ellas. La ausencia de definición en los proyectos y el desconocimiento sobre el funcionamiento de nuevos materiales y procedimientos constructivos, propician que la arquitectura entendida como una **obra de fábrica**, se vea sumergida en un mar de decisiones improvisadas.

Con este panorama, nada halagüeño, la industria no ayuda nada. Se trata de construir más rápido y en cantidad. Ya nadie se fija en la calidad. Aunque ésta se certifique de cientos de modos posibles con sellos de todo tipo. Desde nuestro punto de vista, la calidad no tiene nada que ver con que una determinada entidad certifique algo. Ya que los patrones pueden estar obsoletos o descontextualizados.

En contraste con lo anterior, algunas obras se han concebido como **procesos de montaje**, que suplen realizaciones in situ, por **fabricación en taller** de elementos que posteriormente, **prefabricados**, se montan en obra. En algunos casos, esto último se ha aplicado a edificios completos.

Hay casos singulares y pioneros como el Palacio de Cristal de la Primera Exposición Mundial, realizada en Londres en 1851, por John Paxton o la torre de 1000 pies construida por Eiffel en 1889.

De estos primeros intentos son herederos algunos sistemas que se utilizan hoy en día, que además añaden a su configuración la característica de **recuperables**, ya que permiten su uso y puesta en obra en lugares diferentes con un costo mínimo.

En la línea de los avances anteriores, a mediados del siglo XX aparecen varios artífices que contribuyeron con proposiciones muy interesantes y que sin embargo, hasta la fecha están infrutilizadas. Desde nuestro punto de vista, bien entendidas las obras de B. Fuller y de J. Prouvé han sido fundamentales para la arquitectura contemporánea. Haber estudiado a fondo sus propuestas ha sido una de las tareas de nuestra investigación.



Fig. 1. Interior de vivienda (prototipo). B. Fuller

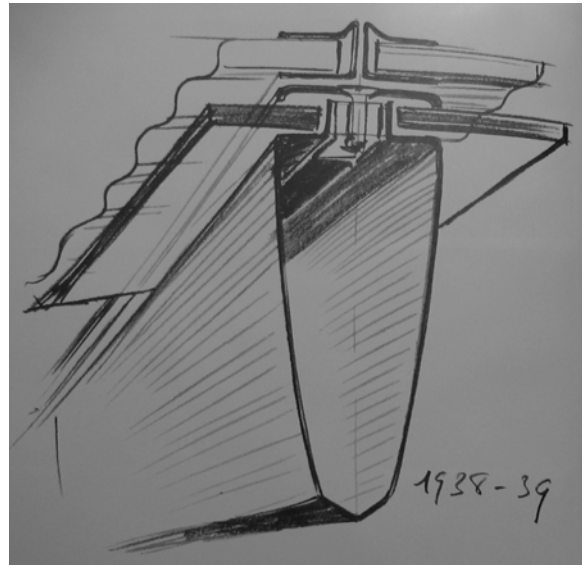


Fig. 2. Resolución de cerramientos. J. Prouvé

Por lo tanto a la vista de los antecedentes y de nuestro entorno físico y temporal, hace diez años planteé una investigación, cuya hipótesis de partida fundamental es:

ES POSIBLE CONSTRUIR MEJOR, MÁS RÁPIDO, MÁS ECOLÓGICO Y MÁS BARATO, SIN QUE SE VEA MERMADA EN NINGÚN ASPECTO LA CALIDAD DEL EDIFICIO PRODUCIDO.

Nuestras premisas se basan en sostener que es necesario realizar **obras de montaje y no obras de fábrica**. Con este planteamiento todos los elementos del edificio forman parte de una **enorme malla** que contiene la información suficiente para que éstos sean ensamblados mediante **procedimientos probados** en donde la calidad está garantizada. La **ligereza** y por lo tanto la **ecología** (ahorro de transportes, eliminación de residuos, etc...) son una consecuencia lógica de este modo de construir.

Ahora bien, para que todo esto tenga sentido es necesario que las realizaciones que se propongan **sean arquitectura y no mecanos artificiosos** a los que hay que ponerles un cartel para que se sepa lo que es.

Tras ir probando diversas posibilidades, la investigación se planteó con los objetivos siguientes:

Creación de **PROTOTIPOS ARQUITECTÓNICOS** en los que la utilización de todos los recursos tecnológicos posibles no minimice la calidad de las soluciones arquitectónicas planteadas.

Hacer especial hincapié en la reducción del impacto ambiental de todos los procesos relacionados con los edificios generados (fabricación, montaje y uso).

Tras varios años de trabajo, se han alcanzado los resultados siguientes: Docencia de Grado, Cursos de Postgrado, Tesis Doctorales, Patentes, Construcción y comercialización por Empresas de las soluciones propuestas.

A continuación se expone una descripción somera de éstos.

2 Docencia de Grado y Postgrado

Desde el curso 2005/06 se viene impartiendo una asignatura de Libre Configuración denominada: *Desde el Detalle: Invenciones en Arquitectura*.

Los objetivos fundamentales de ésta son:

- Sólo tiene sentido dibujar arquitectura si se va a construir.
- Un dibujo arquitectónico debe llevar implícito su proceso constructivo.
- Es necesario aprender a proyectar desde lo particular a lo general.
- Es fundamental comprender que las soluciones constructivas también se diseñan.

Para alcanzar los objetivos anteriores, la docencia se ha organizado del siguiente modo:

Bloque 1: MOSTRAR LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DESDE EL DETALLE CONSTRUCTIVO.

Bloque 2: PLANTEAR SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN SITUACIONES SINGULARES.

Con un total de dedicación de 4,0 créditos (40 horas en total) los estudiantes completan su formación con 3 ejercicios prácticos desarrollados en clase cuyo contenido es el siguiente:

- Ejercicio 0. Planteamiento de una idea (Duración: 1 clase).
- Ejercicio 1. Desarrollo de una idea. Conocimiento de la forma y el material (Duración: 6 clases).
- Ejercicio 2. Análisis de una obra. Aprendiendo a mirar con ojos de arquitecto. (Duración: 6 clases).

En, ya, tres cursos de duración los resultados y la participación de los estudiantes han sido excelentes (fig. 3).

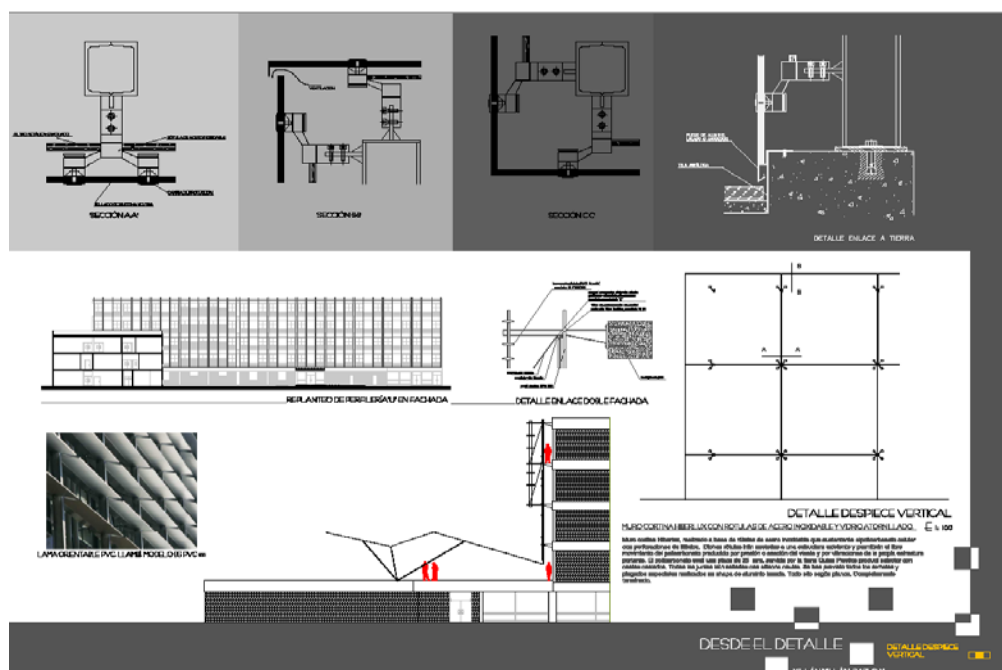


Fig. 5. Pablo Millán Millán, Ejercicio 2º (2005/06)

Desde el curso 2001/02, primero en el Programa de Doctorado desarrollado por el Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción denominado Rehabilitación Arquitectónica y Urbana y posteriormente el Máster Oficial denominado Máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico, llevo impartiendo un curso de 1,0 crédito, denominado: *Análisis de bóvedas de fábrica (Teoría de bóvedas y experiencias con bóvedas)*.

La investigación realizada, puso de manifiesto la importancia de la historia de la construcción en nuestra tarea y cómo podemos aprender de los tipos constructivos históricos. La contextualización de estos conocimientos nos ha permitido proponer parte de las ideas actuales (modulación, ligereza, rápido montaje, etc...) que dirigen nuestro trabajo.

3 Tesis Doctorales

Tras la realización de mi tesis doctoral denominada: ***Análisis de estructuras espaciales de fábrica (bóvedas y cúpulas) en construcciones históricas***¹, trabajo que me permitió profundizar en el análisis de los tipos históricos como fuente de conocimiento y base para la contextualización, en la actualidad dirijo varias tesis enmarcadas dentro de la línea de investigación señalada, unas dentro del apartado de análisis de tipos históricos como fuente para la nueva arquitectura y otras dentro de la línea de creación de prototipos.

Tenemos:

- *Análisis, desarrollo y aplicaciones de mallas espaciales de barras de dos capas*. Doctorando: Manuel Ordóñez Martín, arquitecto.
- *Carpintería de par y nudillo: análisis constructivo y estructural*. Doctorando: Iñigo Ariza López, arquitecto.
- *Las bóvedas de nervadura en Nueva España desde el s. XVI*. Doctorando: José Gregorio Vadillo Rojas, arquitecto.
- *Las cubiertas medievales de los templos del sur de Europa: Procedimientos de intervención*. Doctorando: Rosa Benítez Bodes, arquitecta.

¹ 2001, Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1. Universidad de Sevilla.

4 Patentes

Desde una etapa muy temprana en la investigación se planteó la necesidad de contar que **prototipos reales** con un uso concreto. Éstos serán construidos gracias a encargos profesionales. Por lo tanto en una única operación estábamos **experimentando soluciones** y a la vez **transfiriendo resultados**. Con lo que la necesidad de proteger con patentes los prototipos nos pareció fundamental.

Hasta la fecha se cuenta con una patente y está previsto realizar dos más en breve.

La patente realizada se denomina: *Sistema para la construcción de estructuras espaciales, desplegadas, de dos capas, basadas en mallas de rombos y aspas multianguladas (Sistema Florín).*

Ésta fue patentada en 1997 (Florín, N° Reg. 9701926). Desde el principio se concibió tanto para la construcción de edificios completos, como para cubiertas y cerramientos.

Su construcción se realiza en taller utilizando tubos de materiales diversos según el caso (orgánicos, metálicos y sintéticos) y nudos también patentados. Presentan doble capa, por lo que las deformaciones se controlan desde su proceso de diseño en función de las cargas previstas y permite el montaje de doble material de cobertura controlando así el nivel de aislamiento requerido. Además, mantiene un perímetro conocido durante su evolución de plegado/desplegado y la estructura una vez plegada ocupa un espacio mínimo.

Todas las geometrías generadas (planas, de simple y de doble curvatura) se basan en la repetición de un módulo elemental. Éste, se define a partir de la combinación de un rombo y un aspa simple. Si se unen los puntos medios de los lados de un rombo regular de forma alterna con un aspa en la que sus lados también tienen la misma longitud que los del rombo, se obtiene un mecanismo de un grado de libertad en el plano. Si se separa el rombo del aspa una distancia prefijada (canto de la estructura) y se vuelve a unir el rombo al aspa utilizando barras diagonales que van desde los extremos de cada barra buscando la proyección del punto medio de éstas, mediante nudos adecuados, se vuelve a obtener un mecanismo de un grado de libertad, pero en el espacio (Fig. 4).

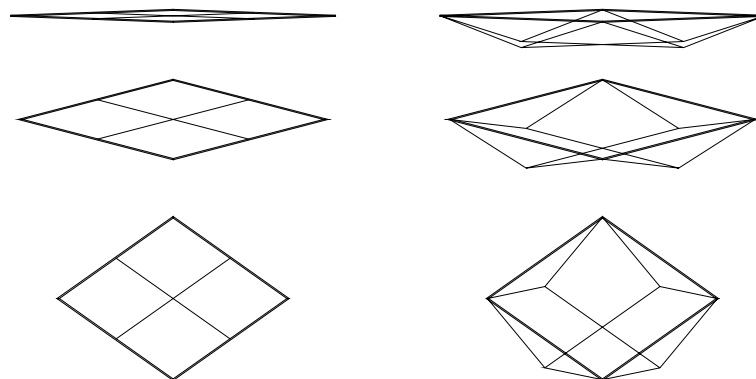


Fig. 4. Generación del módulo elemental

Variaciones diversas de este módulo, así generado, en cuanto a la similitud de longitudes entre las barras de la capa superior y de la inferior, su angulación y forma de unión, propiciarán las diferentes geometrías desarrolladas.

A continuación mostramos una selección de las geometrías desarrolladas.

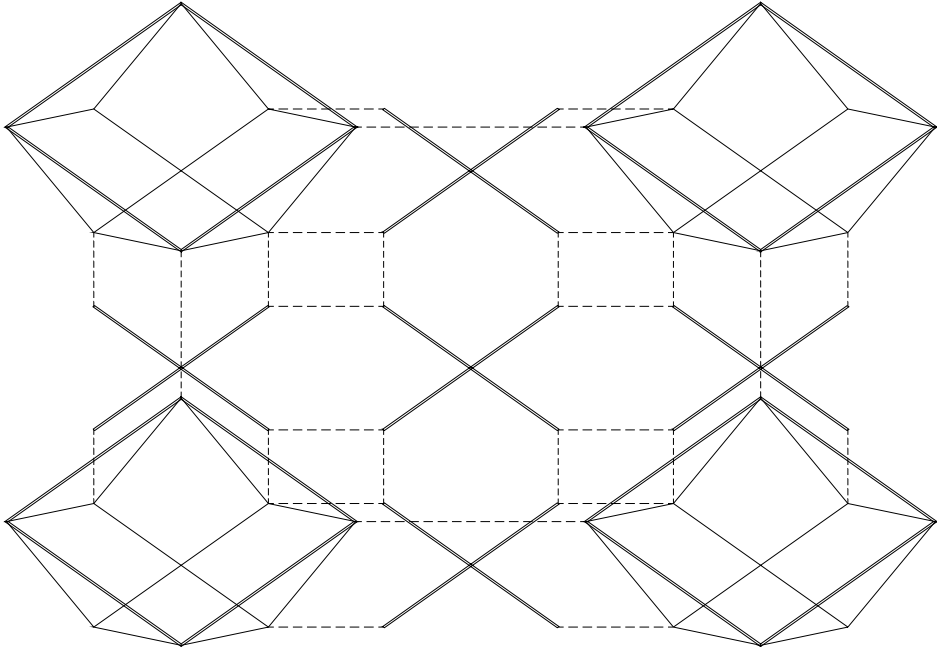


Fig. 5. Generación de una malla plana a partir de módulos elementales y espas

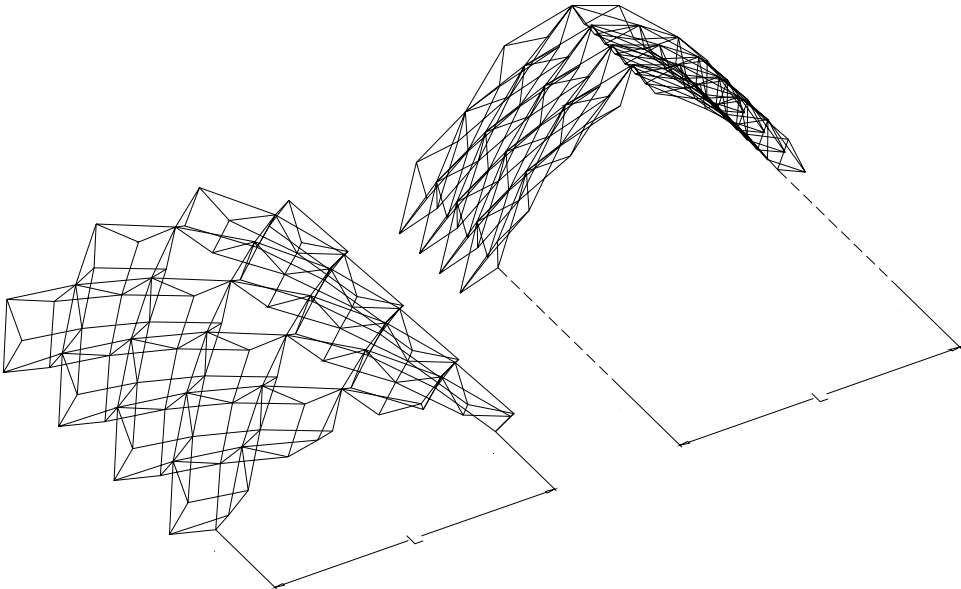


Fig. 6. Malla cilíndrica con perímetro fijo

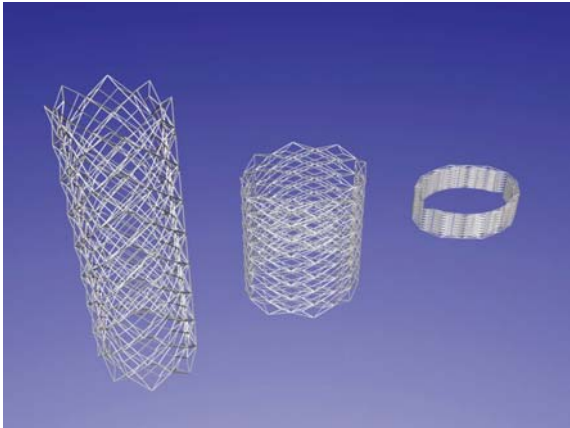


Fig. 7. Torre cilíndrica

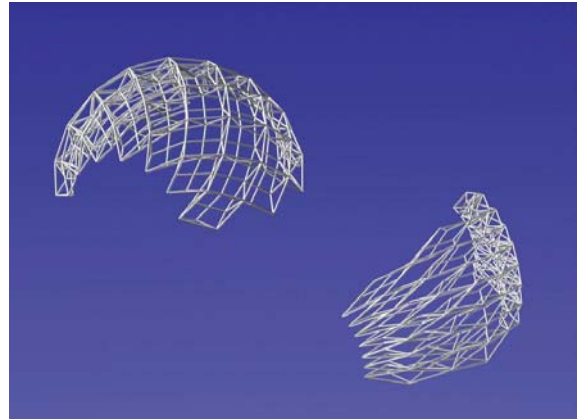


Fig. 8. Mallas esféricas

También se han desarrollado las herramientas informáticas que permiten generar automáticamente las diferentes geometrías y que analizan el comportamiento mecánico de las soluciones propuestas (fig. 9).

Por último, para que todo lo anterior sea factible se han desarrollado varios tipos de nudos, que permiten no sólo la conexión entre las distintas barras, sino además, la unión de éstas al resto de elementos constructivos y estructurales (cerramientos, forjados, etc...) (fig. 10).

Con este planteamiento se han desarrollado varios edificios que se muestran en el apartado siguiente.

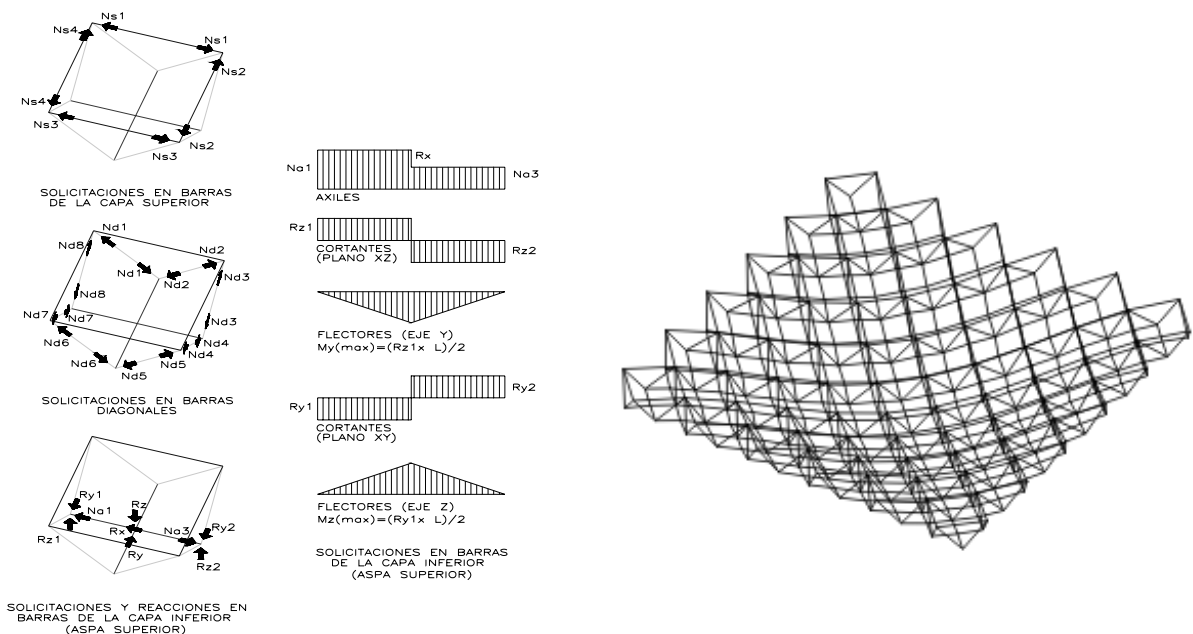


Fig. 9. Comportamiento mecánico del módulo elemental y deformada de una malla plana



Fig. 10. Diferentes soluciones de uniones patentadas

5 Realizaciones

En apartados anteriores ha quedado claro que ésta es una investigación que necesita transferir resultados a la sociedad con idea de evaluar su impacto y así poder corregir y optimizar las propuestas.



Fig. 11. Piscina semiolímpica cubierta (2001-2003)



Fig. 12 . Piscina semiolímpica cubierta (2001-2003)

Con este planteamiento, se han construido varios edificios resueltos con los sistemas patentados y por patentar. En todos la forma de construir sigue las premisas establecidas en los objetivos de la investigación. Además, tras repetir varias veces encargos, hemos tenido la suerte de contactar con empresas sensibles a nuestra línea de trabajo, como Tecnología Verde S.L., que se ha embarcado en la aventura de construir todas las propuestas que realizamos.



Fig. 13. Torre de instalaciones (2002-2003)



Fig. 14. Centro Multiusos (2004-07)

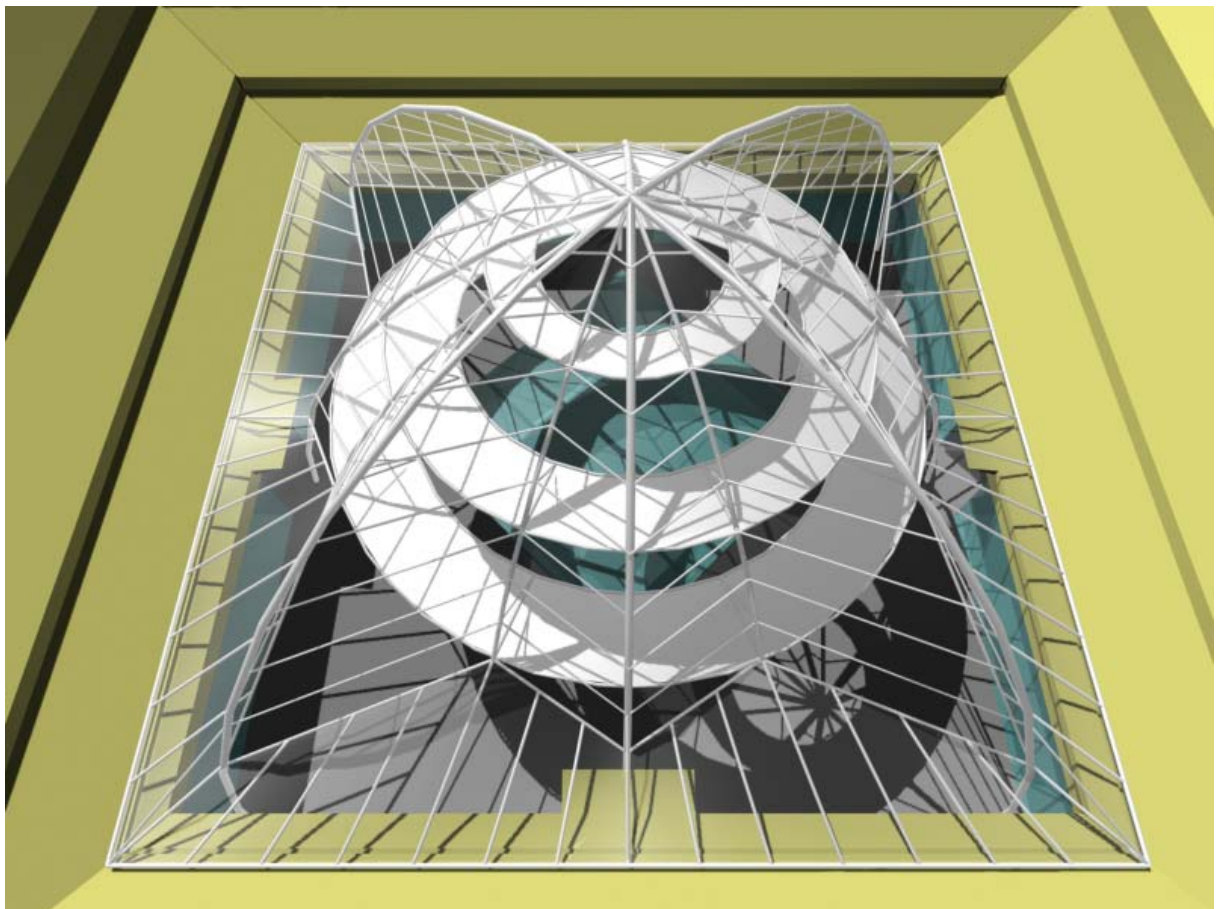


Fig. 15. Cubierta de Mercado (2007-08)

6 Convenios con empresas.

Otra manera, fundamental, de transferir resultados de las diferentes líneas de investigación planteadas, ha sido realizar convenios con diversas empresas que han demandado nuestros servicios para resolver situaciones concretas.

Las tareas realizadas han sido varias, pero en la mayoría de los casos se ha utilizado nuestra pericia en la realización de software original en situaciones diversas.

Entre otros, destacamos los siguientes:

- Convenio con la empresa Vorsevi S.A. para la realización de un programa informático específico para el modelizado automático de todo tipo de bóvedas de nervaduras (2001). El programa realizado permite modelizar cualquier tipo de bóveda, conocer sus propiedades geométricas y exportarla a cualquier programa de CAD.
- Convenio con la empresa Otón S.L. para la realización de un paquete de software que resuelva el montaje e inventario de elementos de rápido montaje para espectáculos y actividades de tipo lúdico. Se ha realizado tres programas que resuelven el diseño, montaje e inventario de piezas de carpas de todo tipo, graderíos y escenarios (2005-08).
- Convenio con la empresa García Diéguez Consulting S.L. para la asesoría en el diseño y cálculo de elementos de arquitectura escénica. Se han realizado aportaciones originales en el diseño y cálculo de telones cortafuegos y cajas escénicas (peine y galerías).

7 Conclusiones

La comunicación presentada pone de manifiesto la posibilidad real de integrar todas las misiones (*docencia, investigación, práctica profesional y transferencia de resultados*) en una línea de trabajo.

En nuestro caso, además, nos ha permitido establecer una disciplina y un posicionamiento con respecto a la arquitectura y su práctica.

Tras 10 años de investigación, los resultados obtenidos avalan con creces el camino seguido y nos alientan a que continuemos.

8 Bibliografía

- Escrig, F., Valcarcel, J.P. 1993. Arquitectura Transformable. ETSA Sevilla.
- Crossing. 2001. Exchanging roles. Rivista internazionale di architettura e tecnologie promossa da Btchino esce due volte l'anno. Milano.
- Davies, C. 2002. El edén recuperado: Jardín botánico, Cornualles. Nicholas Grimshaw. AV Monografías, 96. Madrid.

- Du Chateau, S. 1968. Structures Spatiales. Cahiers du centre d'études architecturales de Bruxelles. Bruxelles.
- Eekhout, M. 1997. Las estructuras tubulares en la arquitectura. Ed. CIDECT, Ginebra.
- Heller, R; Salvatori, M. 1976. Structures et Architecture. Eyrolles, Paris.
- Mainstone, R.J. 1975. Developments in Structural Form. Hazell, Watson & Viney Ltd, London.
- McHale, J. Buckminster Fuller, R. 1961. Architectural Design. London.
- Sarger, R. 1964. Vie des formes structurales dans l'espace L'a Architecture d'aujourd'hui. Paris.
- Sutherland, L. 2002. Maestros de la arquitectura. La ingeniería en las edificaciones innovadoras. Ed. Blume. Barcelona.
- Wardenier, J. 2002. Perfiles tubulares en aplicaciones estructurales. Ed. ICT, Álava.