

EL EDIFICIO COMO OBRA DE MONTAJE: FUENTES Y HERRAMIENTAS

GÓMEZ DE CÓZAR, JUAN CARLOS

ARIZA LÓPEZ, ÍÑIGO

BENÍTEZ BODES, ROSA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla

Área de conocimiento: Construcciones Arquitectónicas I

Abstract

En esta comunicación se presenta un trabajo que cumple con dos de los objetivos señalados en la convocatoria de las jornadas, que son la investigación y la transferencia de la investigación a la sociedad.

Desde antiguo la arquitectura ha bebido de sus propias fuentes y el resultado ha sido producir lenguajes propios que se perpetuaban transformándose lentamente en el tiempo. Sin embargo, aspectos puramente formales y carentes de significado, en muchas ocasiones han propiciado que la arquitectura tienda a separarse de su cometido fundamental, que es la de construir un espacio (o grupo de éstos) que acoge y posibilita una actividad determinada.

Esta dualidad *definición-materialización* y la pérdida de la tangibilidad de las ideas arquitectónicas nos preocupa enormemente desde hace años. Es por esto que seguimos una línea de investigación que busca hacer arquitectura desde la perspectiva actual, utilizando procedimientos actuales, que entiende el proceso constructivo como un proceso de montaje y que plantea que un edificio está terminado cuando se puede utilizar para el fin con el que ha sido creado.

Intentar buscar prototipos arquitectónicos y constructivos no es fácil, de ahí que se hayan seguido fuentes de todo tipo. Algunas no necesariamente arquitectónicas.

En el caso que se presenta en esta comunicación la fuente utilizada consiste en la relación con una empresa de montajes provisionales para todo tipo de espectáculos. Por lo que sus construcciones (gradas, escenarios y carpas) están impregnadas de sentido común (ligereza y rapidez de montaje) y capacidad de adaptación (espacio y tiempo).

Estos sistemas tienen como interés el permitir una construcción en seco y modular con una serie de piezas estandarizadas, que pese a dichas limitaciones permiten cubrir perfectamente todas las posibilidades que se requieren en estas situaciones provisionales. Los elementos se construyen aluminio, tablero contrachapado fenólico y acero galvanizado principalmente. Se trata de estructuras de barras que por tanto aprovechan al máximo las propiedades mecánicas y físicas del metal.

A partir del conocimiento de estos sistemas y de su utilización como fuente para la investigación reseñada, surgió la oportunidad de abrir una línea nueva, basada en la gestión y optimización de los procesos de montaje. Con lo que con este objetivo se ha realizado un software especial único en su tipo para la "construcción modular de elementos de montaje rápido". Se entiende con este nombre construcción virtual y formal previa al montaje de la obra provisional, que permite la visión previa del objeto (proyecto), la contabilidad de las piezas (medición), y que podrá engarzar con cualquiera otra herramienta informática para verificar la resistencia estructural del conjunto o cualquier otra comprobación futura de otro tipo (cálculo).

Debido a las diferentes patentes que componen el trabajo de esta industria, como son: carpas, graderíos o escenarios; se optó por dividir cada sistema en un módulo de computación aparte. Dichos módulos se integran en una estructura y en un interfaz común, que permite ver el resultado, salidas de mediciones etc.

Una vez establecidas los tipos de elementos y las relaciones que existen entre ellos, el problema que se plantea es de topología. Existen una serie de elementos con base a una modulación (aunque no siempre) que deben concordar entre sí mediante estas relaciones de "contacto".

En resumen, la comunicación que se enviará, presenta un trabajo que cumple dos de los objetivos planteados en estas jornadas: investigación y transmisión de los conocimientos. Demostramos con este trabajo que también los arquitectos pueden realizar herramientas de trabajo para la arquitectura.

Comunicación

1 Introducción. La construcción modular

Desde antiguo la arquitectura ha bebido de sus propias fuentes y el resultado ha sido producir lenguajes propios que se perpetuaban transformándose lentamente en el tiempo.

Sin embargo, en muchas ocasiones aspectos puramente formales y carentes de significado han propiciado que la arquitectura tienda a separarse de su cometido fundamental, que es la de construir un espacio (o grupo de éstos) que acoge y posibilita una actividad determinada.

Por el contrario en momentos de innovación tecnológica como fue la Revolución Industrial que causó la aparición del hierro/acero y del vidrio y el desarrollo de la industria, en especial la aeronáutica, han propiciado que la arquitectura reconozca otras fuentes de las que enriquecerse.

Uno de estos aspectos aprendidos de la industria es el de la construcción modular. Desde los inicios del Movimiento Moderno y durante el resto del s. XX ya hubo una preocupación entre algunos arquitectos por la construcción modular y la prefabricación, conceptos íntimamente unidos entre sí. Y no es que no existieran antes estos conceptos. El *Cristal Palace* construido con motivo de la Exposición Universal de Londres (1851) era una enorme construcción modular y prefabricada, opuesta por completo a la construcción de obra de fábrica existente entonces y aun muy habitual hoy en día. Sin embargo durante mucho tiempo y con esta salvedad, estos conceptos fueron usados por los ingenieros, que se veían obligados a tener en cuenta el ahorro del material, de tiempo, de transporte. En definitiva, tenían unas exigencias extremas de racionalidad en la construcción.

Los nuevos conceptos que en apariencia se adueñan de la arquitectura del siglo XX incluyen también la racionalidad de la construcción, el abaratar los costes, el permitir la prefabricación industrial, la modulación como base de la racionalidad en el proyecto. Y por ello estuvo influido por los logros de la ingeniería. El último empuje importante a estas ideas vino tras la crisis del petróleo con la preocupación por el medio ambiente.

Para entonces habían pasado los primeros intentos de implantar en la arquitectura formas novedosas y sistemas modulares desde ámbitos de la ingeniería y que fracasaron, como nos pueden ilustrar algunas obras de B. Fuller, entre otros. Probablemente parte del fracaso se debió a que en la arquitectura existe una necesidad de una envolvente más elaborada que en las construcciones industriales más rígidamente geométricas y más indiferentes al medio. Hubo que esperar a los llamados "tecnófilos" para encontrar algunas de estas soluciones realizadas con suficiente soltura arquitectónica. También encontramos casos de grandes promociones de viviendas prefabricadas en la década de los 60 que fracasaron por una falta de calidad de los encuentros. Podemos decir que la resolución de los encuentros en estos sistemas modulares, en definitiva la construcción, no eran adecuados.



Fig.1



Fig.2

Hoy en día existe una abundante arquitectura que usa este concepto de construir a base de apilar o juntar módulos, pero en muchas ocasiones lo relega a lo puramente formal, a las envolventes de los usos o a lo “proyectual”.

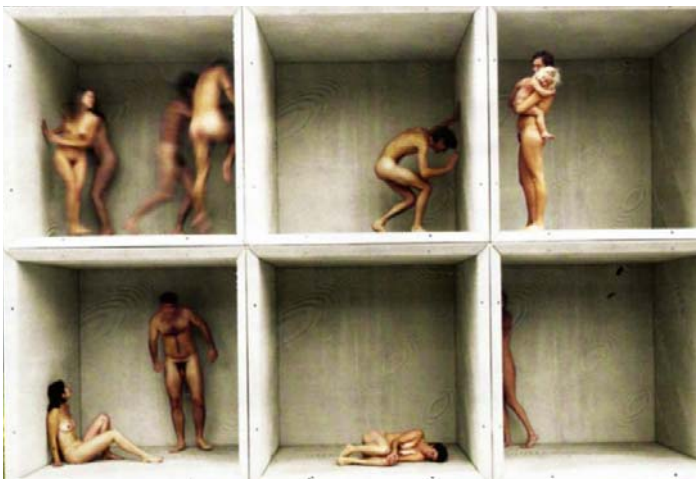


Fig.3



Fig.4



Fig.5

No es coherente pretender realizar formas modulares, con una construcción de obra de fábrica, o con una construcción de otro tipo pero sin relación con las formas que se pretenden.

Se aprecia por tanto una separación entre la *definición formal* y la *materialización* de la arquitectura. Se produce una pérdida de la tangibilidad de las ideas arquitectónicas que nos preocupa enormemente desde hace años. Es por esto que seguimos una línea de investigación que busca hacer arquitectura desde la perspectiva actual, utilizando procedimientos actuales, que entiende el proceso constructivo como un proceso de montaje y que plantea que un edificio está terminado cuando se puede utilizar para el fin con el que ha sido creado.

Intentar buscar prototipos arquitectónicos y constructivos no es fácil, de ahí que se hayan seguido fuentes de todo tipo. Algunas no necesariamente arquitectónicas.

En el caso que se presenta en esta comunicación la fuente utilizada consiste en la relación con una empresa de montajes provisionales para todo tipo de espectáculos. Por lo que sus construcciones (gradas, escenarios y carpas) están impregnadas de sentido común (ligereza y rapidez de montaje) y capacidad de adaptación (espacio y tiempo). Estos sistemas tienen como interés el permitir una construcción en seco y modular con una serie de piezas estandarizadas, que pese a dichas limitaciones permiten cubrir perfectamente todas las posibilidades que se requieren en estas situaciones provisionales. Se trata de estructuras de barras que por tanto aprovechan al máximo las propiedades mecánicas y físicas del metal.

A partir del conocimiento de estos sistemas y de su utilización como fuente para la investigación reseñada, surgió la oportunidad de abrir una línea nueva, basada en la gestión y optimización de los procesos de montaje. Con lo que con este objetivo se ha realizado un software especial único en su tipo para la "construcción modular de elementos de rápido montaje". Se entiende con este nombre construcción virtual y formal previa al montaje de la obra provisional, que permite la visión previa del objeto (proyecto), la contabilidad de las piezas (medición), y que podrá engarzarse con cualquiera otra herramienta informática para verificar la resistencia estructural del conjunto o cualquier otra comprobación futura de otro tipo (cálculo).

Una vez establecidas los tipos de elementos y las relaciones que existen entre ellos, el problema que se plantea es de topología. Existen una serie de elementos con base a una modulación (aunque no siempre) que deben concordar entre sí mediante estas relaciones de "contacto" (topología).

2 Finalidad del programa informático desarrollado

Como se ha visto la empresa beneficiaria de este trabajo se dedicaba al alquiler, montaje y desmontaje de estructuras provisionales, carpas, gradas y escenarios, según se ha mostrado.

Los sistemas utilizados son en general patentes muy elaboradas, con grandes posibilidades y gran flexibilidad en las combinaciones y en los acabados posibles.

La consecuencia lógica de ello es que estamos ante unos sistemas complejos con multiplicidad de piezas y de posibles relaciones entre éstas.

La empresa se enfrentaba al problema de contar el número de piezas que cada construcción provisional requería. Antes de nuestra intervención la contabilidad de las piezas se hacía de forma manual mediante lápiz y papel cuadriculado. Obviamente se dejaba en manos de los operarios más expertos, ya que se trata de una labor compleja y que requiere conocer todo el sistema. La contabilidad de las piezas es especialmente grave cuando se realizan cortes a grandes distancias. En este caso un error encarece enormemente los cortes ya que se multiplican de forma innecesaria. Esta fue la razón original de nuestra intervención. A la contabilidad de las piezas se asocia también el presupuesto, el cálculo de cortes y de medios auxiliares.

Otro factor de complejidad añadido a la contabilidad de las piezas son las posibilidades que ofrecen estos sistemas de combinar distintos módulos y formar casi cualquier dibujo en planta. Se trata de módulos desmontables y por tanto compuestos por piezas menores y comunes a varios de ellos. Por ello las piezas de estos sistemas son generalmente distintas según se encuentren en el borde de la construcción, en el interior o en función de los lados libres que presenten o de los posibles acuerdos con piezas especiales. Por tanto estamos ante un problema de topología.

No obstante durante los primeros contactos con la empresa se detectó la conveniencia de incorporar otros aspectos al programa. Nos referimos a la necesidad de un entorno gráfico adecuado. La empresa se encontraba en la necesidad cada vez más frecuente de justificar la ocupación o bien los alzados de sus construcciones provisionales. Las razones son obvias, justificación de los recorridos de evacuación, accesibilidad, y el pago de licencias de ocupación.

Por ello se planteó la posibilidad de que el programa informático generara una salida en un formato de fichero de intercambio de dibujo. Dentro de los disponibles se eligió el DXF por ser uno de los más universales y puede abrirse desde cualquier programa común de CAD.

Dada la complejidad que pueden llegar a tener las configuraciones obtenidas con estos sistemas, se creyó muy adecuado que el programa dispusiera de un interfaz gráfico que permitiera verificar el trabajo.

3 Desarrollo del trabajo

3.1 Descripción sucinta de los sistemas modulares estudiados.

Pasamos a describir someramente los tres sistemas modulares que se estudiaron: sistema de escenarios de fabricación propia; sistema de gradas Layher®; y sistema de carpas.

Dichos sistemas usan principalmente aluminio y acero galvanizado; las piezas auxiliares son de acero inoxidable, en general cuñas, tornillos y pasadores; y tableros de contrachapado fenólico. En menor medida se usan otros materiales: textiles para carpas, plástico reforzado en asientos de graderío y cables de acero en algunas soluciones de tirantes.

Las características generales de estos sistemas son lógicamente la modulación y la posibilidad de intercambiar entre piezas compatibles. Esta característica permite una flexibilidad de diseño casi total, aunque en estos sistemas la flexibilidad está muy limitada a la disposición en planta.

Por lógica son sistemas de barras y tableros, que requieren el arriostramiento de los planos verticales.

El aspecto fundamental de cada patente o sistema es el nudo. En la resolución del nudo se concretan todas las cuestiones expresadas antes: posibilidad de ampliación y compatibilidad en las tres direcciones del espacio; resistencia mecánica y rigidez suficientes; capacidad para acoger las barras de arriostramiento; rapidez de colocación, montaje y pese a ello seguridad de uso.

Escenarios. Se trata de un sistema de fabricación propia realizado principalmente en acero galvanizado con una modulación básica de 1.95 x 2.00 m. El nudo define el sistema y permite una colocación muy rápida, sin necesidad de replanteo, además es suficientemente rígido hasta una altura intermedia, a partir de la cual se requiere arriostramiento mediante varillas de acero.



Fig.6



Fig.7

Gradas. Se trata de una patente de Layher®, aplicable también con algunas variantes a otros sistemas para escenarios y andamiajes entre otros. De entre los demás sistemas es el que permite mayor variedad de acabados y variantes y es el más sofisticado. Está realizado íntegramente en aluminio más materiales complementarios, tablero contrachapado fenólico, etc. La roseta de unión y su ensamble es probablemente el elemento fundamental del sistema, pues permite que acometan a un mismo nudo 8 barras en casi cualquier dirección.



Fig.8



Fig.9

La modulación general es de 1.57 x 2.57 con una pendiente de 17°, y puede llegar hasta una altura de 4 metros, ampliable si se ensamblan dos soportes.

Carpas. Se conforman por un sistema de pórticos de aluminio articulados en su apoyo inferior. Estos pórticos mantienen siempre una separación entre sí de 5 metros. Las luces que cubren son de 8, 10, 12, 15 y 20 metros. El sistema puede crecer indefinidamente sólo en longitud, por lo que su complejidad es menor a la de otros sistemas.

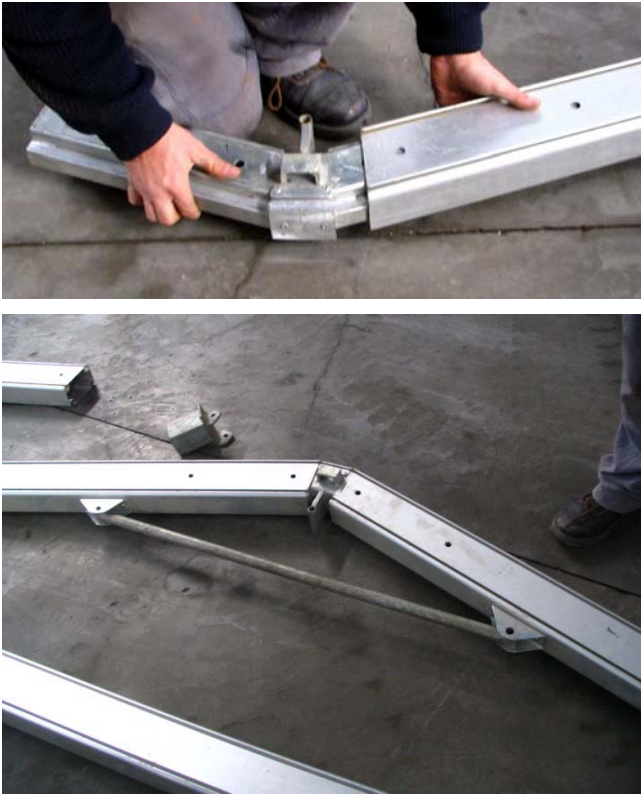


Fig.10 y 11



Fig.12

Todos los sistemas se completan con el arriostamiento mediante barras o cables diagonales tanto en planta como en vertical en ambas direcciones, siguiendo las reglas propias. Cuando se respetan las reglas fundamentales de disposición constructiva y de colocación de arriostamiento las construcciones modulares tienen garantizado su comportamiento mecánico.

3.2 Cuestiones generales sobre la herramienta informática desarrollada

El programa se ha realizado con Visual Basic® por la flexibilidad de dicho entorno y compatibilidad con Windows®.

Debido a las diferentes patentes que componen el trabajo de esta industria, como son: carpas, graderíos o escenarios; se optó por dividir cada sistema en un modulo de computación aparte. Dichos módulos se integran en una estructura y en un interfaz común, que permite ver el resultado, salidas de mediciones etc.

La forma de trabajo es la siguiente:

Una vez introducidas las medidas generales se procede a introducir el resto de variantes de cada sistema, por ejemplo la presencia de bancos individuales o bien corridos en el sistema de gradas, la elección del color, la presencia o no de lonas en carpas etc.

La entrada de datos se complementa con las operaciones de modificación sobre el esquema inicial, según se detalla en el apartado siguiente. Dichas posibilidades de modificación son muy distintas en cada sistema. Incluyen las capacidades de añadir o eliminar módulos, cambiar el tipo o propiedades del módulo y otras.

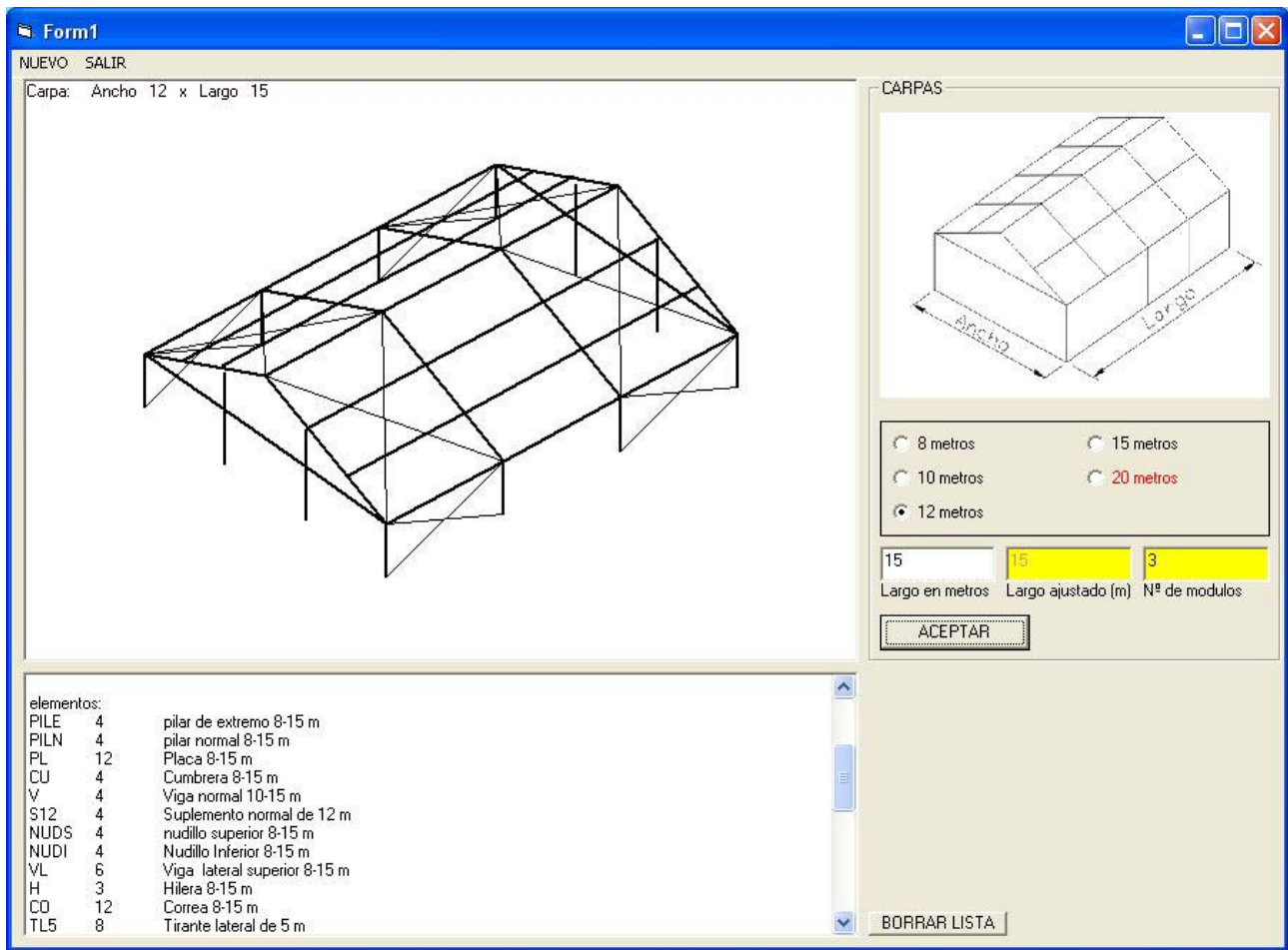


Fig.13

3.3 Topología.

Es uno de los aspectos de investigación más interesantes de este trabajo.

Las posibilidades de cualquier construcción modular (entendida en un sentido amplio, no necesariamente arquitectónico) dependen de la capacidad de crecer o de que se le añadan más elementos en cualquiera de las direcciones.

Dentro de los sistemas modulares existen dos grandes posibilidades:



Fig.14

- Módulos que podríamos llamar “enteros”, es decir, compuestos por una unidad indivisible a efectos prácticos de combinación.
- Módulos formados por piezas a efectos necesarios de combinación. Este es el caso de los contenedores de transporte apilados en una gran embarcación. En sentido estricto deberíamos hablar de una obra de “gruaje”.

Cuando los módulos no son “enteros” las piezas de que se componen los módulos son compartidas: soportes, vigas o tableros. Por ello se han de montar en el sitio, es una obra de montaje. También da lugar a que algunas de estas piezas varíen según las condiciones de contacto con otros módulos o según las condiciones de borde (por

ejemplo, con la necesidad de colocar una barandilla de seguridad). Por ello el nudo se convierte en el elemento protagonista del sistema porque permite la ejecución rápida y segura, a la vez aporta la suficiente flexibilidad como para permitir el acceso de varias barras en varias direcciones.

Los sistemas que nos ocupan pertenecen a ese segundo grupo.

Como hemos visto topología, bordes, modulación y posibilidad de crecimiento son problemas que con cierta frecuencia se plantean desde la arquitectura más actual.

El programa responde a la posibilidad de añadir o eliminar módulos en cualquier disposición que sea posible y estable. Esta herramienta informática agrega de manera automática las piezas necesarias, elimina las sobrantes, y añade las condiciones de borde necesarias, ya sean condiciones de seguridad como barandillas o condiciones de estabilidad como es el caso de los arriostramientos.

Por ello se ha desarrollado una interfaz que permite mediante una serie de botones, realizar operaciones booleanas sobre la interfaz gráfica. Es decir, haciendo "clic" sobre el dibujo y seleccionado previamente un tipo de operación (añadir, eliminar, modificar) se realizan todas las operaciones de modificación sobre el esquema base.

Tras la actualización con las modificaciones el programa verifica de forma automática varias cosas:

- Recalcula el listado de piezas necesarias.
- Verifica la estabilidad del proyecto. Ya que como hemos visto si se verifican las reglas de construcción de estos sistemas la capacidad mecánica está asegurada.

Sin embargo queda abierta la posibilidad en un futuro de implementar como una herramienta más un cálculo estructural del conjunto o algún otro tipo de cálculo. El mismo permitiría establecer con más precisión la capacidad de carga, posibilidad de vibraciones, etc.

4 Conclusiones finales

Además de la propia utilidad del programa realizado y del hecho de responder a una necesidad existente en un determinado ámbito industrial desde la investigación y la innovación universitarias, este trabajo de investigación nos ha proporcionado otras satisfacciones.

Nos ha permitido acercarnos y reflexionar de forma activa, es decir, produciendo un trabajo útil, sobre un aspecto muy conocido y muy mal interpretado en la arquitectura actual. Este es el ya tan conocido problema de la construcción modular y de sus consecuencias, entre otras el estudio de la topología y de las envolventes.

Otra conclusión es que podemos aprender mucho de estos y cualesquiera otros sistemas que usa la industria a diario, y citamos dos aspectos:

- En el caso de los sistemas estudiados su diseño se concentra en el nudo. El nudo es el alma de la construcción modular porque es la pieza que permite la obra de montaje con todas las consecuencias que esto tiene: seguridad en la ejecución, seguridad y ahorro en los plazos de ejecución, economía de medios, ahorro de agua y un largo etcétera.
- Debido a la sencillez conceptual de esos sistemas, la resistencia mecánica de los mismos queda asegurada siempre que se respeten las reglas constructivas,

básicamente la adecuada disposición de elementos, y limitaciones máximas en altura. A nuestro modo de ver éste es un concepto interesante derivado de la modularidad que se deberá trasladar alguna vez a la arquitectura habitual, que siempre se mueve dentro de un ámbito de luces y cargas frecuentes.

Por tanto en estos sistemas modulares la construcción tiene una prevalencia clara sobre otras cuestiones como son el cálculo o el diseño sin condicionantes.

Esta misma razón permitirá en un futuro un control casi global de todos los aspectos del proyecto cuando algunos sistemas modulares estén muy desarrollados. Por ello, los mismos nos enseñan que es posible realizar herramientas específicas por arquitectos, desde y para la arquitectura, y con vocación de convertirse en herramientas integrales.

5 Bibliografía

- Viollet le Duc, E. DICTIONNAIRE RAISONNÉ DE L'ARCHITECTURE FRANCAISE DU XI AU XVI SIÈCLE. Morel y Cié , Editeurs. Paris, 1845.
- Esselborn, C. TRATADO GENERAL DE CONSTRUCCIÓN. CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1929.
- Martín Hernández, M.J. LA INVENCION DE LA ARQUITECTURA. Celeste ediciones. Madrid, 1997.
- Sutherland, L. MAESTROS DE LA ARQUITECTURA. LA INGENIERÍA EN LAS EDIFICACIONES INNOVADORAS. Ed. Blume. Barcelona, 2002.
- AV Monografías nº 96. GRANDES DETALLES. Arquitectura Viva S.L. Madrid 2002.

ÍNDICE DE FIGURAS

- 1 y 2. R.Buckminster Fuller. 1895-1983. Roberto Grimaldi. Officina Edizioni.
3. INTERFERENCE CUBE. *Gramazio & Kholer.2003. Suiza, Swiss Art Awards Exhibition 2003, Basel. Rev pasajes nº 10*
4. Montaje sobre Unidad de habitación de Le Corbusier. *Xavier Monteys. Rev Arquitectos 179 vivienda. CSCAE.*
5. Torre Mirador. *MVRDV & Blanca Lleó. Madrid 2005. Rev AV Monografias 111-112*
- 6 y 7. Módulo y nudo de sistema de escenarios. Fotos de los autores. 2006.
- 8 y 9. Módulo y roseta de sistema de gradas. Fotos de los autores. 2006.
- 10, 11 y 12. Nudos, uniones y arriostramiento de sistema de carpas. Fotos de los autores. 2006.
13. Salida de datos del programa para carpas.
14. Contenedores de transporte apilados en una gran embarcación