

**INDUSTRIALIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN Y SU APLICACIÓN EN CENTROS ESCOLARES**



## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 1 RESUMEN   | 7  |
| 2 INTRODUCCIÓN  | 9  |
| 2.1 MOTIVACIÓN  | 9  |
| 2.2 OBJETIVOS   | 10 |
| 2.3 METODOLOGÍA   | 11 |
| 3 HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN                      | 13 |
| 3.1 ORIGEN  | 14 |
| 3.2 EVOLUCIÓN   | 16 |
| 3.3 CRONOGRAMA  | 29 |
| 4 ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES EN LA ACTUALIDAD                | 31 |
| 4.1 MÓDULOS ESTÁNDAR Y MÓDULOS ADAPTADOS  | 31 |
| 4.2 PROYECTOS EXPERIMENTALES  | 34 |
| 4.3 EDIFICIOS MODULARES NO DECONSTRUIBLES   | 37 |
| 4.4 EDIFICIOS MODULARES DECONSTRUIBLES Y RECONSTRUIBLES                                 | 40 |
| 4.5 SOLAR DECATHLON   | 44 |
| 5 HISTORIA Y ACTUALIDAD DE LA INDUSTRIALIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE CENTROS ESCOLARES | 49 |
| 5.1 ANTES DE 1970   | 49 |
| 5.2 DURANTE LOS AÑOS 70   | 49 |
| 5.3 ENTRE 1980 Y 1990   | 53 |
| 5.4 ACTUALIDAD  | 53 |
| 5.5 EL FUTURO DE LAS CONSTRUCCIONES MODULARES INDUSTRIALIZADAS Y SU INTERÉS AMBIENTAL   | 58 |
| 6 NORMATIVA ACTUAL RELACIONADA CON CENTROS ESCOLARES EN LA CV                           | 61 |
| 6.1. DB-SUA (DOCUMENTO BÁSICO SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD)                 | 61 |
| 6.2 REAL DECRETO 132/2010, DE 12 DE FEBRERO   | 62 |
| 6.3 DECRETO 39/2004 DE 5 DE MARZO   | 71 |
| 6.4 DECRETO 2/2009, DE 9 DE ENERO   | 72 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>7 COMPARATIVO ENTRE CONSTRUCCIÓN MODULAR Y TRADICIONAL</b>  | <b>75</b>  |
| 7.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL  | 77         |
| 7.2 SISTEMA MODULAR DE HORMIGÓN  | 79         |
| 7.3 SISTEMA MODULAR DE MADERA  | 82         |
| 7.4 SISTEMA MODULAR DE ACERO   | 84         |
| 7.5 COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS  | 87         |
| <b>8 EXPERIENCIAS PROPIAS DE VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS UBIKO MEDIANTE EL SISTEMA DE PANELES DE HORMIGÓN</b> | <b>91</b>  |
| 8.1 HERMO S.L. EMPRESA DE PREFABRICADOS DE HORMIGÓN  | 91         |
| 8.2 PROYECTO LIGHT2CAT   | 93         |
| 8.3 PROYECTOS UBIKO  | 94         |
| <b>9 RESULTADOS: CRITERIOS A TENER EN CUENTA PARA EL DISEÑO DE UN PROTOTIPO MODULAR OPTIMIZADO</b>           | <b>99</b>  |
| 9.1 EXTRACCIÓN Y FABRICACIÓN DE MATERIALES   | 101        |
| 9.2 TRANSPORTE   | 101        |
| 9.3 CONSTRUCCIÓN   | 101        |
| 9.4 USO  | 102        |
| 9.5 MANTENIMIENTO  | 102        |
| 9.6 DECONSTRUCCIÓN   | 103        |
| 9.7 VENTAJAS Y RESULTADOS DEL DISEÑO MODULAR OPTIMIZADO  | 103        |
| <b>10 CONCLUSIONES</b>   | <b>107</b> |
| <b>11 ANEJOS</b>   | <b>109</b> |
| 11.3 TABLA COMPARATIVA DEL SISTEMA CONVENCIONAL Y MODULAR  |            |
| 11.2 REPORTAJE FOTOGRÁFICO VISITA A HERMO  |            |
| 11.3 DOCUMENTACIÓN EXPERIENCIAS PROPIAS UBIKO  |            |
| 11.4 BIBLIOGRAFÍA  |            |
| 11.5 BIBLIOGRAFÍA DE IMÁGENES  |            |







## 1. RESUMEN

Hoy en día y por diversos motivos como pueden ser el ahorro de costes, de tiempos y la reducción de residuos entre otros, la construcción industrializada debería ser la principal en nuestra manera de hacer. ¿Por qué esto no es así? Se hará un recorrido histórico para entender la evolución de los sistemas y luego se estudiarán experiencias nacionales e internacionales a partir de las cuales se obtendrán unos parámetros que nos sirvan para construir de la manera más eficiente y menos perjudicial posible.

Se expondrán también experiencias propias a través de las cuales nos daremos cuenta de que estos sistemas constructivos tienen aún mucho camino por recorrer en nuestro país para que realmente sean eficientes.

El trabajo terminará enfocándose a centros escolares. Estas construcciones, en ocasiones muy similares, dan lugar a crear un diseño eficiente tipo que se pueda implantar en diversos lugares con pequeños cambios según su ubicación. Se estudiará también por ello la evolución de la construcción industrializada de centros escolares y se dejará un final abierto para una futura ampliación del trabajo hasta obtener una tesis doctoral.



## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Motivación

La motivación que me llevó a investigar sobre este tema fue la oportunidad he tenido de colaborar en un estudio de arquitectura y a la vez constructora, VIRAJE, situado en Valencia, en concreto en la calle Cronista Carreres, 9 (Fig.1).

VIRAJE constituye la unión de un grupo de arquitectos y arquitectos técnicos con un concepto diferente en el campo de la construcción. El equipo oferta un producto “a la carta” en el que se abarcan todas las fases a desarrollar en el proceso arquitectónico. El cliente puede optar por contratar desde uno de nuestros servicios, hasta la totalidad de ellos, completando el proceso desde la viabilidad de una idea inicial, a la entrega de una realidad finalizada.

El propósito es desarrollar un producto al gusto del propietario en el que se ofrezca un asesoramiento global a promotores y auto promotores en el que el cliente puede ser partícipe en la toma de decisiones importantes; estudios previos, redacción del proyecto, dirección de obra, gestión global de la construcción... con el fin de entregar un producto acabado sin necesidad de acudir a varios profesionales diferentes.

Y aunque de manera diferente, nos dedicamos a hacer lo que cualquier estudio de arquitectura podría hacer, VIRAJE ha ido más allá y ha creado una nueva marca, UBIKO (Fig.2), que está especializada en el diseño, gestión y construcción de viviendas industrializadas. El SISTEMA UBIKO reúne todas las cualidades para superar las características de las construcciones convencionales.

En el estudio se han desarrollado diversos modelos de viviendas según los requerimientos de los distintos perfiles de usuarios y familias. Además de los modelos preestablecidos, gracias al uso de sistemas prefabricados se realizan también nuevos modelos particulares a los clientes que así lo deseen.

Desde UBIKO pensamos que hoy en día y por diversos motivos como pueden ser el ahorro de costes, de tiempos y la reducción de residuos entre otros, la construcción industrializada debería ser la principal en nuestra manera de hacer. ¿Por qué esto no es así? Se estudiarán experiencias tanto nacionales como internacionales a partir de las cuales se obtendrán unos parámetros que nos sirvan



FIG. 1 – VIRAJE – [WWW.VIRAJE.ES](http://WWW.VIRAJE.ES)



FIG. 2 – UBIKO - [WWW.UBIKO.ES](http://WWW.UBIKO.ES)

para construir de la manera más eficiente y menos perjudicial posible. Mostraremos todas las ventajas de la construcción industrializada y también sus desventajas con sus respectivas soluciones para acabar admitiendo que es el sistema de construcción del futuro.

El trabajo terminará enfocándose a centros escolares puesto que es un campo menos explotado que el de la vivienda y además es un tipo de construcción muy recurrida y fácil de estandarizar ya que las necesidades suelen ser siempre las mismas. Estas construcciones además suelen ser muy similares por lo tanto estudiar e investigar para crear un diseño eficiente tipo que se pueda implantar en diversos lugares con pequeños cambios según su ubicación puede ser un gran acierto.

## **2.2 Objetivos**

El objetivo de este trabajo de investigación es conocer la evolución de los sistemas industrializados hasta la actualidad en el campo de la construcción y estandarizar por medio de unos parámetros objetivos lo que tenemos hoy en día y cómo debemos construir o cuáles serían las mejores maneras para hacerlo.

Estudiar las principales iniciativas a lo largo de las últimas décadas en materia de industrialización, para entender las barreras u obstáculos que dificultan su definitiva implantación.

Analizar los beneficios y potenciales desde el punto de vista de la sostenibilidad medioambiental y económica que presentan los modelos industrializados en un campo como son los centros escolares, a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, desde la fabricación de sus materiales, la fase de construcción, la de uso y la de derribo y desmontaje.

Intentar establecer cuáles serían las principales estrategias a la hora de diseñar un prototipo de centro escolar para que en un futuro pudiera estandarizarse su fabricación dentro del ámbito de la Comunidad Valenciana.

## 2.3 Metodología

Las fases en las que se va a desarrollar el trabajo y qué contiene cada una se describen a continuación:

Fase 1: Puesta al día de la información relacionada con los la construcción industrializada consultando diversas fuentes como revistas de alto prestigio como “Informes de la construcción”, artículos relacionados con el tema tanto en papel como en internet, normativa que afecte a esta manera de hacer, archivos históricos, posibles entrevistas a personas vinculadas al tema,..

Fase2: Una vez obtenida la información sobre distintos sistemas, se analizarán y compararán a través de unos indicadores objetivos que permitan determinar cuáles son los más relevantes desde diversos aspectos.

Fase 3: Se mostrarán los resultados obtenidos de ese análisis que nos servirán para tomar conclusiones.

Fase 4: propuesta de principales estrategias para el diseño de un prototipo de centro escolar industrializado teniendo en cuenta la normativa que le atañe.

Fase 5: La última fase será una fase de conclusiones a partir de la cual podrá entenderse toda la evolución histórica, su situación actual no extendida, entendimiento de las pautas a seguir y sobre todo qué camino debería escoger la sociedad para seguir evolucionando constructivamente de la mano de la industria.





### 3. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Antes de centrarnos en ningún tema en concreto vale la pena hablar de dos palabras que aunque parecen muy similares, tienen significados distintos. Industrialización y prefabricación.

Aunque la palabra prefabricación no se encuentra en el Diccionario de la Real academia de la lengua, podemos definirla como el sistema constructivo que se basa en el diseño y producción de partes elaboradas en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que se monta en obra de una forma simple y precisa.

De esta manera, las operaciones que se realizan in situ son de montaje y no de elaboración.

Una buena forma para saber el grado de prefabricación en un edificio es según la cantidad de residuos que se generen en obra; cuanta mayor cantidad de ellos menos índice de prefabricación presenta.

Un artículo del blog de UBIKO que redacto y que habla sobre esto: <http://www.ubiko.es/la-construccion-con-prefabricados-y-sus-inicios/>

Por otro lado, el término industrialización sí que se encuentra en cualquier diccionario. Se puede definir como el proceso productivo que, de forma racional y automatizada, emplea materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener una mayor productividad. Lo más importante es que se tiene en cuenta la productividad en lugar de la producción masiva ya que la industrialización es capaz de general de forma eficiente el producto buscado.

Aunque ambos conceptos se parezcan, no significan lo mismo. Como ejemplo, podemos hablar de la construcción del edificio Hábítat 67 para la Expo de Montreal de 1967 (Fig.3) que se realizó de forma prefabricada mediante una fábrica a pie de obra donde se realizarían los cajones de hormigón armado. Aunque no cabe duda de su carácter prefabricado, es difícil considerar este proceso como industrializado puesto que no se realiza en serie, ni de forma masiva con poca mano de obra o de gran productividad.

Un artículo del blog de UBIKO que redacto y que habla sobre esto: <http://www.ubiko.es/habitat67-una-nueva-vision-sobre-prefabricados/>



FIG. 3 - HÁBITAT'67 - [HTTP://TIKINTI.ORG](http://tikinti.org)

Es importante dejar claros los conceptos puesto que es muy fácil encontrarse con expresiones contradictorias que reflejan el mal uso de estos términos. Son frases como “edificio prefabricado in situ”, “estructura singular prefabricada”,...

Pero lo que realmente nos interesa a nosotros es la construcción industrializada que engloba ambos conceptos. Para definir este concepto no es válido decir únicamente que sus componentes tienen un alto índice de prefabricación ni que se realiza en serie, de manera estandarizada y mediante procesos mecanizados. Una buena definición es la que plantea *A.Cuchi:* “aquella en que en sus procesos productivos mantienen a todos los elementos de capital activos durante su desarrollo. Esto implica que las máquinas, infraestructuras, etc., que se han dispuesto para efectuar la transformación de materias primas en productos se encuentran ejerciendo su función en cualquier momento en el que el proceso productivo está en funcionamiento”.

### 3.1 Origen

Según relata *Gómez-Jáuregui (2009)*, sabemos que el origen de la industrialización tal y como hoy la conocemos, tuvo lugar en Inglaterra en el siglo XVIII y que más tarde se extendió por toda Europa hasta que llegó a todas las partes del mundo. Con esto evolucionaron muchos campos de manera que hoy en día casi nos resulta imposible encontrar un sector en el que la industrialización no haya tomado parte.

También cabe destacar que la industrialización de la construcción comenzó tarde si la comparamos con otras disciplinas similares. Aunque los inicios no fueron claros, se han encontrado ejemplos históricos muy curiosos que aunque existen, no quiere decir que se fuera consciente de ese cambio en la manera de hacer.

El primer ejemplo reconocido por autores como el precedente de la construcción industrializada modular fue el trabajo que se le encargó a Leonardo Da Vinci, en el siglo XVI, para planificar un conjunto de nuevas ciudades en Loire, una región francesa. Lo que hizo fue plantear en cada una de las nuevas ciudades un centro de producción. Sería allí donde se realizarían los módulos y elementos básicos para ir conformando las distintas tipologías edificatorias. El objetivo era construir muchas diferentes tipologías con un mínimo de elementos prefabricados en un punto de producción por lo

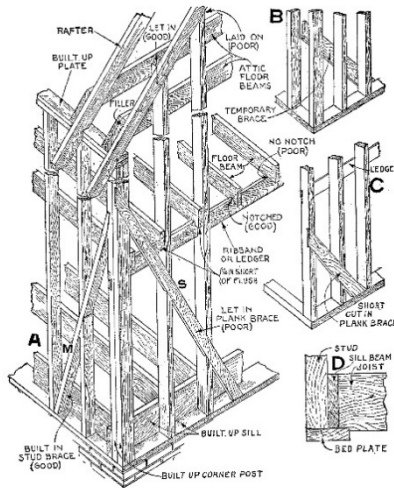
que hubo tanto que pensar el resultado final como todos los procesos intermedios para aprovechar todos los recursos de la mejor manera posible.

Otro ejemplo curioso y temprano de construcción industrializada tuvo lugar también en el siglo XVI pero esta vez en el ámbito militar. Fue en el periodo de guerras entre franceses e ingleses, donde los ejércitos de Francisco I y Enrique II elaboraron pabellones militares de madera prefabricados que albergaran a sus soldados durante la ofensiva. Estos eran transportados fácilmente en barca, se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados en su ubicación, de esta manera tenían un tipo de construcción cómoda, fuerte y ágil. El principal objeto de este proyecto sería la movilidad por lo que los pabellones debían reducirse a módulos o elementos de fácil transporte.

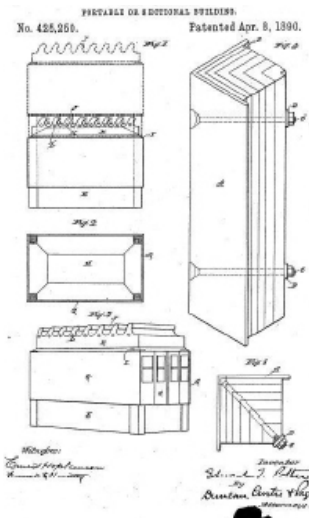
Siguiendo una técnica muy similar, otras expresiones de este sistema de construcción tuvieron lugar en Baffin (Canadá), en 1578. Se levantó una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Del mismo modo, en Inglaterra en 1624, la Great House, una casa también de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow, fue trasladada y montada en Massachussets, en Estados Unidos.

Aunque estos ejemplos no se entienden como construcción industrializada en estado puro por diversas cuestiones, lo importante fue ese cambio de mentalidad relacionado con el mundo de la construcción. No fue, como ya hemos dicho antes, hasta el siglo XVIII con la revolución industrial cuando empezaron a industrializarse puentes de hierro fundido y a estudiar los procesos constructivos. Y hasta el siglo XIX cuando verdaderamente se aplica la prefabricación a la vivienda.

Todos los ejemplos tanto históricos como actuales que se analicen se harán de acuerdo a un bajo consumo de materiales, a que éstos sean o no reciclados y que en el futuro puedan ser reciclables, que pueda desmontarse y transportarse a otro lugar, que use sistemas que contaminen menos, que se produzcan menos residuos, se ahorre agua y se consuma menos energía y el empleo de materiales y materias primas locales para conseguir un transporte eficiente.



**FIG. 4 - SISTEMA BALLOON FRAME -**  
[HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/](http://commons.wikimedia.org/)



**FIG. 5 - PATENTE EDWARD T. POTTER 1889 -**  
[HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/](http://commons.wikimedia.org/)

### 3.2 Evolución

Uno de los sistemas constructivos más antiguos es un sistema japonés, el Kiwari, cuyo primer manual de carpintería es del año 1608, es decir, a principios del siglo XVII. Este sistema que estaba basado en una modulación rigurosa y combinaba tanto partes prefabricadas como otras in situ según los criterios personales de los clientes por lo que no podemos considerarlo aún un sistema de construcción prefabricado completo.

Los comienzos de la prefabricación fueron con bastidores de madera, o Balloon frame (Fig.4), posicionados en obra para conformar la caja de construcción a través montantes, permitía construir muy rápido edificios de una, dos o tres plantas. La primera construcción realizada con este sistema fue en Chicago en 1833. Esta manera de construir aprovecha el uso del material y al poder montarse y desmontarse, los materiales podían ser reutilizados además de que la madera como material y de origen local puede gestionarse de manera sostenible.

Como expone *Wadel, (2009)* en su tesis, hacia 1830 en Inglaterra empezaban a construirse viviendas prefabricadas más tarde conocidas como Colonial Portable Cottages. Estas casas, como si de un juego se tratase, iban embaladas y se transportaban hacia las colonias inglesas para montarlas siguiendo una modulación y además sin ayuda de carpinteros ni constructores. Hacia 1850 apareció una variación de este sistema pero con chapas corrugadas de acero y posteriormente se extendió el uso de acero a la estructura. Estas maneras de hacer tenían una facilidad de montaje y desmontaje que resultaban de interés.

*Gómez-Jáuregui (2009)* relata que un año antes de que el primer avión echara a volar, en 1889, aparecía en EEUU la primera patente de edificio prefabricado con módulos tridimensionales en forma de cajas que podían apilarse (Fig.5). Esta patente la ideó el arquitecto Edward T. Potter que dijo: “Mi invención tiene por objeto presentar una vivienda o estancia portátil que, aunque esté adaptada para uso independiente y conforme en ella misma una estructura completa, es capaz de combinarse con otra u otras más para formar, sin pérdida de espacio, una vivienda o la estructura que se requiera, con habitaciones al mismo nivel o una encima de la otra en diferentes pisos”

Por otro lado, Monier y Lambot empiezan introduciendo armaduras en el hormigón en la segunda mitad del siglo XIX. Lo utilizaban para construir barcas y maceteros de hormigón con entramados de alambre.

A partir de aquí es cuando comienza a investigar, desarrollar y utilizar el hormigón armado que será uno de los principales materiales para la construcción industrializada. Pero quedará mucho tiempo hasta que comience a implantarse tal y como nos cuentan *Burón Maestro y Fernández-Ordoñez (1997)* que afirmaron que fue en 1891 cuando una empresa en París utiliza por primera vez vigas prefabricadas de hormigón armado para construir, en este caso, el casino de Biarritz. Hasta entonces, queda mucho camino que recorrer utilizando otros materiales más comunes en aquella época como pueden ser la madera, el metal o el vidrio.

Con el cambio de siglo y sobre todo en países industrializados como Inglaterra y Estados Unidos la gran presión social para tener una vivienda generó una necesidad de construir con prefabricados. Por esto se van desarrollando distintas técnicas como la de Grosvenor Atterbury que crea un sistema basado en la construcción de viviendas con grandes paneles aligerados o la de Thomas Edison que consistía en verter hormigón en moldes metálicos de forma continua y que daba buen resultado para edificios de dos o tres plantas.

Durante el primer tercio de siglo siguieron investigando y desarrollando nuevos sistemas constructivos basados en la construcción industrializada. Aunque por ahora estos elementos prefabricados eran fundamentalmente de fachada y no estructurales.

Aun así, sobre 1908, seguía asociándose la prefabricación a la madera. En Estados Unidos y en concreto en Nueva Jersey, aparecen las Sears Roebuck Houses. Este tipo de viviendas basadas en un catálogo se componía por una estructura y cerramientos de madera. El montaje se realizaba en cualquier sitio y de forma rápida con la ayuda del catálogo ya que el fabricante te proporcionaba todos los componentes y accesorios de montaje. Aun así la cimentación y algún requerimiento especial del cliente seguía realizándose in situ. Con este método se optimizaba el uso de los recursos y del transporte.

En 1919 Joseph R. Witzel patentaba otro sistema de edificios modulares (Fig. 6) en el que módulos de forma cúbica se ensamblaban entre sí para formar bloques de viviendas, factorías u otro tipo de

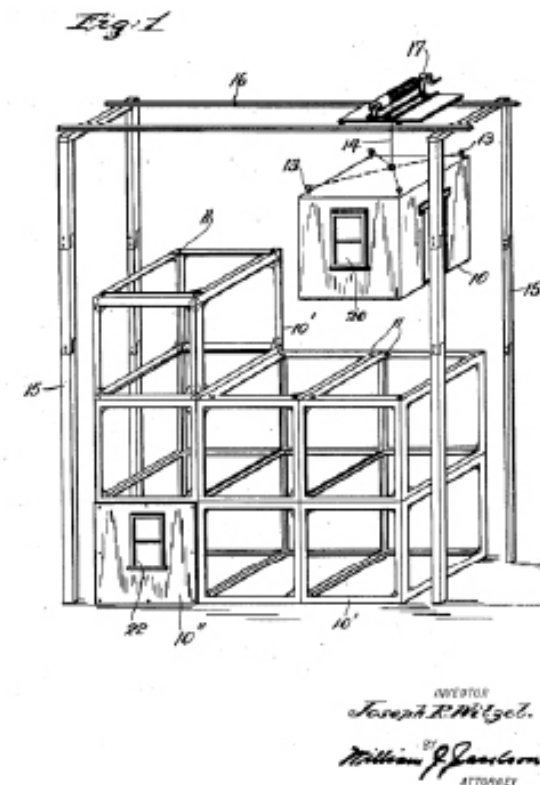


FIG. 6 - PATENTE JOSEPH R. WITZEL 1919 -  
[HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/](http://commons.wikimedia.org/)

edificios. En este caso, el montaje se realizaba gracias a grandes grúas pórticos y los materiales posibles estaban comprendidos desde el hormigón hasta la madera, pasando por el metal o la arcilla cocida.

Fue Eugene Freyssinet, en 1928, el que patentó el pretensado de hormigón. Gracias a este invento se revolucionó la construcción con este material, supuso un gran avance. El hormigón pasa de ser un material inerte y pasivo a ser un material activo que trabaja sobre todo a compresión. Con el desarrollo de aceros y hormigones se obtuvo un material noble y con unas grandes condiciones en cuanto a durabilidad.

Entre 1942 y 1943 Francisco Fernández Conde, ingeniero de caminos, obtuvo las patentes del pretensado para América Latina y para España. Un año más tarde se crea la empresa PACADAR, S.A. (Piezas Armadas con Acero de Altísima Resistencia). Es a partir de este momento cuando se empiezan a crear en España sistemas con prefabricados pretensados para todos los campos de la construcción.

La evolución de la construcción industrializada ha ido siempre ligada al aumento de la calidad. El cambio de construir todo en obra a llevar parte a fábrica exige un gran control de todos los procesos y materiales implicados además de unas instalaciones fijas donde pueda realizarse el proceso de industrialización. Para los elementos prefabricados se usan los materiales más desarrollados del campo de la construcción. El hecho de utilizar mejores materiales contribuye a un mejor comportamiento de los elementos y esta mejora repercute directamente en la durabilidad de las construcciones donde se usan.

Al principio se realizaban ensayos para corroborar la viabilidad de los elementos que componen la construcción industrializada. Estos podían realizarse en las propias fábricas o en laboratorios como en España podía ser el Instituto Eduardo Torroja.

*Torroja (1991)* considerado en su época como un creador e innovador dentro del campo de las estructuras, nos dice en el prólogo: "Cada material tiene una personalidad específica distinta, y cada forma impone un diferente fenómeno tensional. La solución natural de un problema -arte sin artificio, óptima frente al conjunto de impuestos previos que le originaron, impresiona con su mensaje, satisfaciendo, al mismo tiempo, las exigencias del técnico y del artista. El nacimiento de un conjunto estructural, resultado de un proceso creador, fusión de técnica con arte, de ingenio con estudio, de



imaginación con sensibilidad, escapa del puro dominio de la lógica para entrar en las secretas fronteras de la inspiración. Antes y por encima de todo cálculo está la idea, moldeadora del material en forma resistente, para cumplir su misión. A esa idea va dedicado este libro”.

Otra razón por la que es importante el desarrollo de esta industria es por la gran capacidad de producción de elementos prefabricados. Inicialmente la capacidad, los medios y el transporte de los elementos eran pequeños por lo que los elementos que se producían eran limitados y reducidos. Conforme evolucionaba también aumentaban de tamaño.

Como sigue diciendo *Wadel (2009)*, hacia 1930 aparece en el mercado americano las General Houses. Intentaron aplicar la tecnología de fabricación de coches. El sistema consistía en unos paneles portantes de acero que incluían aislamiento térmico. Con el tiempo el interior se realizaba con bastidores y contrachapado de madera y el exterior con asbesto de cemento. Al mismo tiempo se desarrolló un sistema parecido, American Houses, con un prototipo llamado Motohome. Las empresas investigaron y desarrollaron paneles sándwich de cerramiento con madera como revestimiento y con aislante térmico en el interior que en el futuro pasarían a ser sistemas constructivos portantes. La característica más importante de este sistema es el uso del aislamiento térmico en cuanto a eficiencia energética se refiere.

La casa sobre ruedas o house-on-wheels (Fig.7), tienen su difusión hacia 1930-40 fundamentalmente en Estados Unidos. Lo que al principio era una vivienda temporal para vacaciones pasó a ser la primera vivienda modular estable gracias a los parques que se crearon para poder instalar las caravanas definitivamente. Los requerimientos eran la ligereza y el poco volumen por lo que se empezó a utilizar otros materiales como el aluminio y algunos compuestos del plástico hasta ahora ajenos a la construcción. La estructura estaba formada por tubulares de acero y los cerramientos con paneles de aluminio y contrachapado de madera. Aunque para poder cumplir las normas de tráfico el ancho de las mismas estaba restringido, estudiaron maneras de modificar el espacio habitable al extenderse, plegarse, acoplarse,... Al no haber derribo permitirá la recuperación de los recursos una vez haya terminado su vida útil.

Durante la segunda guerra mundial, por encargo de las fuerzas armadas de EEUU se crearon unos albergues (Fig.8). Los requisitos que tenían que cumplir estas construcciones es que fueran económicas, ligeras y fáciles de montar y de transportar. Resultado de todo esto fue una construcción



**FIG. 7 - HOUSE ON WHEELS -**  
[HTTP://GYPSYTRADERIMPORTS.BLOGSPOT.COM.ES/](http://GYPSYTRADERIMPORTS.BLOGSPOT.COM.ES/)



**FIG. 8 – QUONSET HUT –**  
[HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/](http://EN.WIKIPEDIA.ORG/)



**FIG. 10 – DYMAXION HOUSE -**  
[HTTP://BIOMIMI.COM/](http://biomimi.com/)



**FIG. 11 – LUSTRON HOUSE -**  
[HTTP://WWW.LUSTRONPRESERVATION.ORG/](http://www.lustronpreservation.org/)



**FIG. 9 – AIROH HOUSE -**  
[HTTP://WWW.STANLEYHISTORYONLINE.COM/](http://www.stanleyhistoryonline.com/)

de medio cilindro de chapa ondulada atornillada sobre nervios semicirculares de acero extruido. En el interior había otra chapa y en el medio lanas minerales como aislante térmico. Los testeros alojaban los accesos y se acababan con los mismos materiales. Esta construcción prefabricada se montaba sobre una cimentación ligera de losetas de hormigón prefabricadas, piedras u otros materiales del lugar.

R. Buckminster Fuller que ya había diseñado un prototipo de una vivienda en metal, de planta hexagonal y suspendida de un mástil central, hizo que tras la postguerra se reutilizaran las fábricas de aviones. Además, proyectó un baño de manera que se optimizaba el uso del agua. Estas experiencias se aplicaron en la Wichita House que fue la versión final de la Dymaxion House (Fig.9). Su diseño favorece la ventilación, aportando o extrayendo calor y así se reduce el consumo energético.

Tras la segunda guerra mundial se demandaron urgentemente muchas viviendas por la escasez y destrucción de las que había. Fue aquí cuando la edificación prefabricada empezó a adquirir relevancia y volumen. La prefabricación aún no se había desprendido del pensamiento popular de que se trataba de una arquitectura temporal, mediocre, masiva e impersonal.

Algunas de las causas de que no tuviera el éxito esperado son las siguientes:

- El proceso constructivo necesita de conocimientos técnicos avanzados.
- Por las limitaciones del transporte se limitan las medidas de los módulos de una manera bastante restrictiva.
- Limitación en el número máximo de plantas posibles.
- Necesidad de inversión importante.
- Cuando la elaboración de los módulos no se realiza totalmente en fábrica se pierde calidad y rentabilidad en el proyecto.
- Si los muros son portantes confiere al diseño cierta rigidez tipológica y constructiva.
- Debido a que estas construcciones empezaron a tenerse en cuenta en momentos de crisis, la pobreza en sus ejecuciones hicieron que se asociaran con la baja calidad.
- La gente las rechazaba por su estética.

Con ansia de mejorar y renovar el concepto de vivienda modular, durante los años 60 y 70 aparecieron proyectos que explicaremos más adelante.



También después de la segunda guerra mundial, en 1946 otro avance en cuanto a materiales para la construcción prefabricada fue la chapa de acero con esmalte vítreo. Este recubrimiento ofrece al material una gran resistencia a la corrosión, al ataque químico y a la estabilidad del color frente a la luz. Podemos apreciarlo en la Lustron House (Fig.10). La prefabricación en esta vivienda se realizaba en líneas de montaje; era montada sobre una solera de hormigón. El sistema no se difundió demasiado porque las piezas de montaje eran en ocasiones muy complejas. Los materiales que se han utilizado en este sistema, el aluminio y el acero vitrificado son puntos débiles energéticamente ya que son materiales de alta intensidad energética.

La investigación sobre materiales ligeros para la prefabricación de viviendas se realiza sobre todo en Norteamérica con AIROH House (Fig.11). Este proyecto de 1947 consiste en una vivienda de paneles de aluminio extruido para la estructura y para los cerramientos pero estos últimos rellenos de hormigón celular para el aislamiento térmico y en el interior revestido con yeso. Sólo el forjado y pavimento se hacían con madera que era lo normal por aquel entonces. Los elementos realizados en fábrica se transportaban a obra y allí se le hacía un tradicional trabajo de juntas. La utilización masiva del aluminio era una desventaja ambiental. De todas formas su larga vida útil y su reciclabilidad eran aspectos importantes.

Jean Prouvé en Francia desarrolló una tecnología de acero laminado plegado, de uso estructural y de revestimiento de láminas con aluminio. Las Maisons Meudon (Fig.12), 1949, tienen un sistema constructivo basado en una cáscara soportada por un pórtico central. Este método sintetiza la arquitectura prefabricada y ligera que Prouvé propone frente a los sistemas basados en el hormigón armado que acabaron imponiéndose. Incluía estructuras con chapa plegada, uniones que se soldaban en taller, paneles sándwich con aislamiento térmico, nuevos materiales para aislar como la fibra de vidrio, carpinterías y revestimientos de aluminio,... Con este modelo Prouvé innovó en el proceso de construcción ya que adaptaba la maquinaria y los materiales de otras industrias. Su interés por usar la mínima cantidad de material y de proceso constructivo junto con la eficiencia energética hacen de él un gran referente en este campo.

Otro proyecto de Jean Prouvé innovador en cuanto a la construcción fue la Casa Desmontable 8x8 (Fig.13) de 1945. Tras la guerra en Francia se necesitó una producción rápida de vivienda y Prouvé se basó en tres principios: prefabricación, flexibilidad y movilidad. Este modelo tiene un tamaño concreto



**FIG. 12 – LA MAISON MEUDON -**  
[HTTP://ASTUDEJAOUBLIE.BLOGSPOT.COM.ES/](http://astudejaoublie.blogspot.com.es/)



**FIG. 13 – CASA DESMONTABLE 8x8 -**  
[HTTP://YTUQUEOPINASNESTORALMENDROS.BLOGSPOT.COM.ES/](http://ytuqueopinasnestoralmendros.blogspot.com.es/)



**FIG. 14 – EAMES HOUSE -**  
[HTTP://WWW.EAMESHOUSE250.ORG/](http://www.eameshouse250.org/)

de 8x8 metros. Se basa la capacidad de doblado de la máquina del taller que mecaniza hojas de acero de 4 metros. Con esto se obtiene una superficie mínima de 64 metros cuadrados por módulo; un espacio aceptable tanto para el usuario como para el constructor. Tanto la estructura portante como las vigas de suelo y techo se construyen con placas de acero dobladas.

Un artículo del blog de UBIKO que redactó y que habla sobre esto: <http://www.ubiko.es/casa-desmontable-8x8-jean-prouve/>

También en el año 1949, Charles Eames diseña su casa a partir de piezas ya existentes (Fig.14). Tanto los perfiles extruidos que hacían de estructura como las carpinterías fueron seleccionadas de una nave industrial. Los paneles de chapa de acero junto con el vidrio conforman la envolvente del edificio. Estas piezas van atornilladas. Aunque no se hubiese proyectado para ser desmontado las piezas y las juntas secas lo habrían permitido. La idea que tenía Eames era que una vez terminada pudiera comercializarse a partir de un catálogo. Los materiales muy ligeros con su recuperabilidad y su optimización gracias a la producción masiva hacen interesante este proyecto en cuanto a la gestión ambiental de los residuos.

Aparte de los sistemas ligeros, hay otros basados en el hormigón armado. New Airey Duo Slab es uno de ellos que cuenta también con perfiles de acero. La cubierta tenía una estructura formada por cerchas, viguetas y correas de acero extruido. La fachada era de losetas de hormigón aisladas con fibra de vidrio y revestidas por el interior con yeso. Aunque no es estrictamente prefabricado, su racionalización, producción en masa, estandarización y bajo coste hace que podamos hablar de ellos dentro de este campo. Hay que considerar, ambientalmente, que el hormigón tiene un bajo coste energético.

Hacia 1955 comenzaron a realizar una serie de casas construidas a partir de módulos tridimensionales de 3 metros de ancho y totalmente prefabricadas en talleres con perfiles metálicos o de madera. Se denominaron Mobile House. Aunque se parecen a la house-on-wheels cuando ésta es implantada ya no puede ser trasladada. Surgió por las normativas urbanísticas que impusieron a todas las viviendas que pudieran ser móviles. Se llevaban en un camión y se implantaban en una cimentación in situ preparada previamente. Su interés ambiental reside en su modulación, su fácil transporte y la optimización de recursos.

Durante los años 50 y 60 en Inglaterra, había muchos estudios relacionados con la coordinación modular sobre todo dirigidos a la construcción de escuelas. CLASP (Fig.15), SCOLA, CLAW, Onward MACE i SEAC son algunos proyectos de prefabricación ingleses. Como sigue diciendo *Wadel (2009)*, la coordinación modular es fruto de los esfuerzos por racionalizar, estandarizar y optimizar el uso de los materiales, así como por la necesidad de aumentar la calidad de la construcción y acortar los tiempos de ejecución de obra. Estos sistemas nacieron basándose en juntas reversibles y secas utilizando materiales como el acero, aluminio, madera contrachapada o el fibrocemento aunque posteriormente incorporan un sistema de junta húmeda, los ladrillos. Desde el punto de vista ambiental es interesante por la optimización de recursos, recuperabilidad de estos y control de la generación de residuos.

En general, podemos decir que en la década de los 60 la industrialización ya se ve como una filosofía de construcción y comienzan a desarrollarse programas de edificios totalmente contruidos mediante sistemas prefabricados también con hormigón.

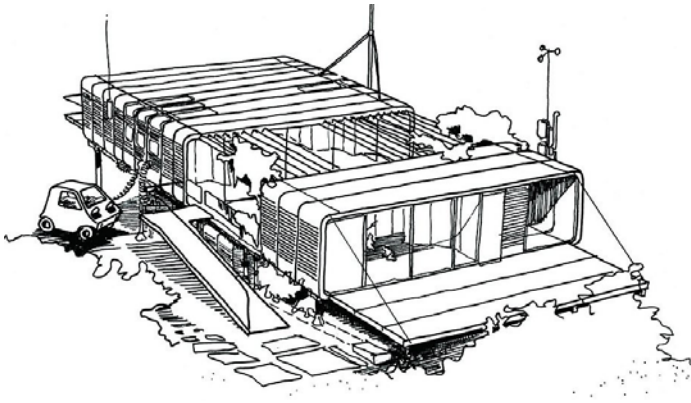
En España en los años 60 ya se construían naves industriales totalmente prefabricadas para todo tipo de usos. Por ejemplo, a finales de esta década se construye la fábrica de la Central Lechera en Madrid. El proyecto se realizó en estrecha colaboración con D. Alejandro de la Sota y se utilizó toda la capacidad estética y técnica que podía aportar el prefabricado.

Fuera de España, en la ciudad de Montreal (Canadá) celebró una exposición internacional, Hábítat'67, en la que el proyecto ganador, de Moshe Safdie se basaba en la creación de un área residencial con terrazas, vías y demás pero en altura. La célula básica de este entramado irregular es un módulo portante de hormigón armado de 5,3x3x11,5 m prefabricado a falta de los acabados interiores. Cada uno de los 354 módulos colabora estructuralmente. La elección del hormigón armado visto responde a unos criterios de bajo coste, mantenimiento reducido y alta durabilidad.

Una idea parecida a la anterior, formalmente hablando, aunque con un origen y una técnica diferente es el sistema constructivo Metastadt de Richard Dietrich entre 1965 y 1976. En este caso es una prefabricación ligera de perfiles de acero atornillados que forman un módulo que se repite de 4,2x4,2x3,6 m. Tanto los módulos de estructura como los paneles que conforman la fachada y las particiones interiores eran removibles e intercambiables. Se realizó una prueba piloto pero no tuvo más difusión.



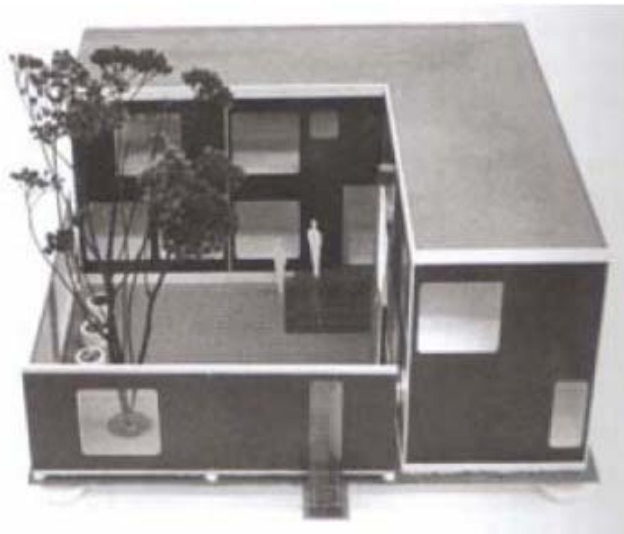
**FIG. 15 – CLASP SCHOOL -**  
[HTTP://WWW.PBCA.CO.UK/](http://www.pbca.co.uk/)



**FIG. 16 – ZIP SUP HOUSE –**  
[HTTP://WWW.BBC.CO.UK/](http://www.bbc.co.uk/)

Gracias a un concurso en el año 1968 apareció la Zip Up House de Richard Rogers (Fig.16). La casa estaba sobre una plataforma con pilares metálicos y se componía de dos volúmenes separados por un patio. El cerramiento era de panel sándwich de revestimiento de aluminio con ventanas similares a las de un autobús. Esta casa está pensada partiendo de una mentalidad que se preocupa por la eficiencia energética y el uso de energías renovables. El interés ambiental de este proyecto lo encontramos en la búsqueda de la eficiencia energética y energías renovables.

Los materiales plásticos se estaban difundiendo. A través de un concurso en 1969, Barton Myers Associates y Stelco (la mayor compañía de acero de la historia) presentaron un proyecto (Fig.17). La estructura estaba formada por cuatro perfiles de acero, una retícula de viguetas metálicas. El cerramiento exterior y particiones interiores eran de panel sándwich con las dos caras de chapa de acero pintado con revestimiento plástico y un núcleo de aislamiento térmico. Los paneles estaban sellados con una junta elástica de neopreno. El sistema incluía un catálogo de productos y una guía de instalación para que todo el mundo pudiera montarlo de manera sencilla. Podían intercambiarse las partes, deconstruir el edificio y recuperar materiales gracias a las juntas reversibles.



**FIG. 17 – STELCO HOUSE –**  
 TESIS WADEL (2009), CAP. 4, PÁG. 105

En EEUU apareció el término Manufactured Home que eran casas que se realizaban totalmente en fábrica y se apoyan sobre cimentaciones tradicionales. Las dimensiones máximas de un único volumen que podía transportarse en un camión eran de 2,44 por hasta 12,00 metros. El sistema constructivo es heredero del balloon frame exceptuando la plataforma de perfiles laminados de acero que aparecen. Las fábricas no están demasiado evolucionadas, se dedicaban a una producción semiartesanal como podría ser en obra aunque con mayor eficiencia en cuanto a tiempo y materiales. La característica especialmente interesante de este sistema es que el chasis permitía trasladar la casa evitando su derribo y la conversión de los materiales en residuos.

Durante la década de 1970 se produce un avance importante en el desarrollo del diseño y producción de nuevos elementos prefabricados. Se inicia la industrialización también de placas para el forjado de grandes luces y cargas, empiezan a fabricarse losas aligeradas,...

Al mismo tiempo se desarrollan también diversos sistemas de paneles para los cerramientos lisos o nervados. Los paneles lisos mediante una sección tipo sándwich incorporan el aislamiento consiguiendo valores muy reducidos de conductividad térmica. Estos paneles eran piezas armadas normalmente. En casos excepcionales se utilizaron técnicas de postesado. El acabado de los paneles



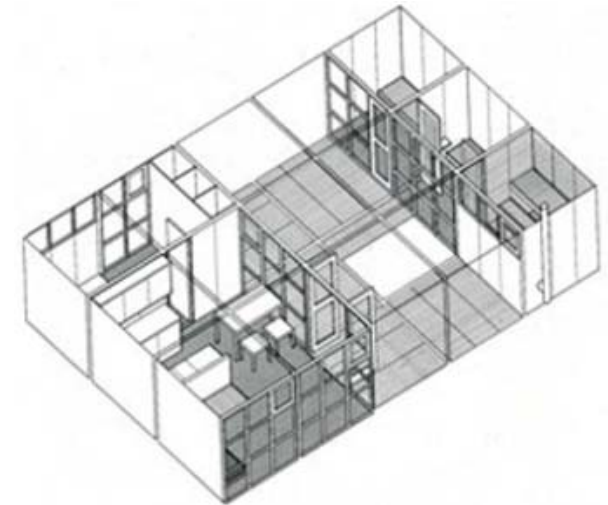
se realizaba con diversas texturas y colores para satisfacer las necesidades arquitectónicas del proyectista. Los acabados podían ser de árido visto, con superficie chorreada de arena, acabado mediante un molde metálico que podía pintarse luego o no, rehundidos o resaltes y por supuesto combinaciones de ellos y colores de árido.

Durante estos años se desarrollan elementos estructurales nuevos y nuevas formas de utilizar los elementos ya existentes. Por ejemplo se hacen vigas alveolares para poder pasar instalaciones a través de ellas y también se fabrican elementos en celosía. Al mismo tiempo se desarrollaron soluciones a través de elementos de paneles y forjados autoportantes que podía usarse hasta en tres alturas. El sistema se utilizó para la realización de gimnasios en el programa de Escuelas Prefabricadas a finales de los años 70 y también para fabricar áreas de servicio prefabricadas en la Autopista Vasco-aragonesa a principios de los años 80.

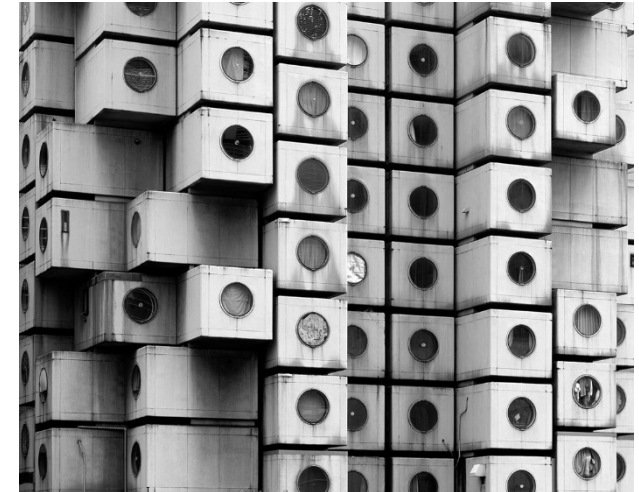
En el mismo tiempo aparece, por parte de los arquitectos Salvador Pérez Arroyo y Federico Echevarría, un sistema de construcciones modulares con paneles en las tres dimensiones. Como ya explicaremos más tarde, a finales de la década de los 70 se crea un programa para realizar centros escolares totalmente prefabricados donde se innova y desarrollan nuevos sistemas de construcción con prefabricados.

En 1971 se desarrolla en Finlandia el sistema constructivo Moduli 225 (Fig.18) por K. Gullichsen y J. Pallasmaa. El módulo del sistema era 2,25 en las tres dimensiones aunque podía descomponerse en un submódulo de 0,75x2,25 m para cerramientos y carpinterías. La ausencia de cerramientos hacía estancias más grandes. La complejidad se encontraba en los nudos entre pilares y las vigas y entre pilares y cimentación. Estas uniones se realizaban mediante piezas de acero regulables.

Kisho Kurokawa, arquitecto japonés, creó en 1972 la Nagakin Capsule Tower en Tokio (Fig.19). Consiste en un hotel de pequeños apartamentos de hormigón prefabricado acabados enteramente en fábrica. Está concebido como cápsulas que se adhieren a un núcleo por el que pasan las instalaciones, circulaciones verticales y que además, este núcleo, era estructural de hormigón armado pero realizado in situ. Se diseñó para que las cápsulas fueran separables y reemplazables. Actualmente y por no haber sido reemplazadas las cápsulas presentan problemas de conservación.



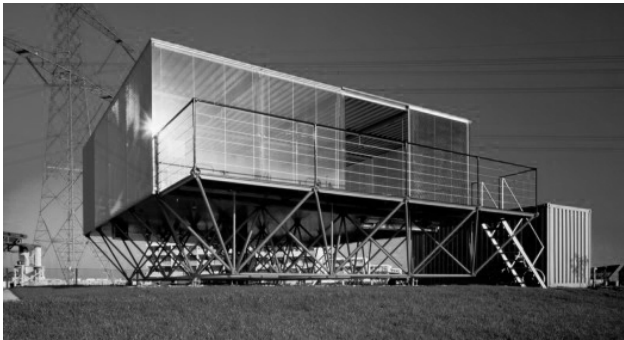
**FIG. 19 – MODULI 225 -**  
[HTTP://WILDCANARY.WORDPRESS.COM/](http://wildcanary.wordpress.com/)



**FIG. 18 – NAGAKIN CAPSULE TOWER -**  
[HTTP://WWW.DOCTOROJIPLATICO.COM/](http://www.doctorojiplatico.com/)



**FIG. 20 – MODULAR HOUSE -**  
[HTTPS://PROYECTOS4ETSA.WORDPRESS.COM/](https://proyectos4etsa.wordpress.com/)



**FIG. 21 – ALMERE HOUSE -**  
[HTTP://WWW.ARCHDAILY.COM/](http://www.archdaily.com/)



**FIG. 22 – SIPS CONTEMPORÁNEO -**  
[HTTP://BLOG.IS-ARQUITECTURA.ES/](http://blog.is-arquitectura.es/)

La modular house (Fig.20) es una casa prefabricada que se basa en combinar módulos tridimensionales de dimensiones parecidas a los contenedores de transporte. Este sistema nos recuerda al House-on-wheels, Mobile home y Manufactured home y vemos que tienen en común esa modularidad tridimensional, el uso de materiales ligeros y el nivel de acabado con el que llegan al emplazamiento final a falta de la cimentación, uniones y la conexión a las instalaciones. Lo que diferencia a este sistema es que su estructura se basa en el apilamiento de unidades. Desde el punto de vista energético es interesante porque las unidades pueden moverse, alquilarse y retornar los materiales a fábrica.

El concurso de Unusual homes de 1984 buscaba viviendas que fueran deconstruibles hasta el punto de poder recuperar sus cimentaciones, que valiesen para cualquier terreno y que fuera totalmente en seco. Eso dio origen a la Almere house (Fig. 21). El edificio se apoya sobre una plataforma formada por una estructura aérea de tubulares, ésta se apoya sobre losetas superficiales de cimentación gracias al poco peso de la vivienda. El cerramiento exterior en tres de sus caras es de vidrio y en la cuarta es de paneles de chapa de acero con núcleo de espuma sintética. Se construyó sólo un prototipo que despertó gran interés en la crítica por su simplicidad constructiva y facilidad de reproducirla.

En 1975 Michael Hopkins construye su propia casa a partir de una estructura de perfiles tubulares de acero y cerramientos de vidrio o metálicos de una manera muy simple. En 1984 Richard Horden diseña la Yacht house que consistía en un sistema de construcción en seco a partir de unos elementos tridimensionales junto con otros lineales y todos ellos estandarizados. El programa se desarrollaba en planta baja a partir de un esqueleto de pilares que se completaba con paneles tanto en el suelo como en cubierta, divisiones interiores y fachada. Los patios se forman con módulos vacíos. Aunque parece prefabricada, realmente su construcción es artesanal. Por otro lado tampoco se pudieron adaptar para su producción en serie. Ambientalmente hablando podemos señalar que, gracias a la junta seca y medidas estandarizadas, los materiales y elementos podían reciclarse.

Los SIPs (Structural Insulated Panels) (Fig.22) se basan en unos paneles con núcleo de espuma sintética y revestimiento formado por tableros de virutas orientadas o contrachapado de madera que tienen cierta capacidad estructural. Las construcciones con este sistema pueden alcanzar incluso dos plantas sin necesidad de estructura adicional gracias al comportamiento homogéneo de las tres capas de los paneles. Se fijan mediante juntas mecánicas. No presenta muchas ventajas ambientales aunque

podemos hablar de la optimización del uso de los materiales. La adherencia entre los componentes del panel hace muy difícil su reciclaje.

Las Flat Pack Houses son unas casas inglesas que se basan en una estructura de vigas y pilares de madera prefabricada según cada proyecto con las juntas acabadas. Los cerramientos se realizan mediante paneles SIPs no portantes. La tecnología de diseño y fabricación por ordenador cambia radicalmente la producción en serie y la línea de montaje que hasta los años 60 era lo más costoso de realizar. La prefabricación ahora podía adaptarse a los cambios del producto.

Otra mezcla de sistemas entre estructura de madera y paneles sándwich es la Space4 House de Inglaterra. El sistema constructivo consistía en paneles de muro, suelo y cubierta prefabricados con aislamiento térmico, carpinterías e instalaciones. Aunque todo esto no era muy innovador, si lo era la forma el grado de automatismo y de flexibilidad alcanzado gracias al trabajo con el ordenador. Este proyecto es una demostración de cómo la aplicación de la informática y robótica son capaces de transformar estándares productivos por los que hasta ahora se regía la prefabricación. De esta manera se podía dar respuesta a casi cualquier demanda arquitectónica. Estas viviendas, al igual que las Flat Pack, no están pensadas desde objetivos ambientales.

El máximo exponente de la prefabricación automatizada lo ubicamos en Japón donde hasta 120.000 casas personalizadas a partir de unos planos base son construidas con distintos sistemas diferentes entre sí. Una primera línea de robotización corta, dobla, ensambla, etc., los paneles que más tarde reciben las carpinterías, accesorios, etc., en una cadena en la que apenas hay hombres controlando. Tarda cuatro semanas entre el encargo de la vivienda y la salida de los paneles y con treinta días más ya estaría lista para ser habitada. El sistema constructivo se compone de paneles para muros de estructura de chapa galvanizada de acero, aislamiento térmico sintético y tableros de madera, yeso laminado,... Los sistemas que aplican la nueva tecnología logran reducir costes, tiempos y dar flexibilidad a la prefabricación.

Hay una voluntad continua en dar respuesta a los problemas estructurales que surgen a la vez de las necesidades formales y de acabados de los edificios.

En los años 80 se crea, en Madrid, el primer gran edificio en altura (110 m) con prefabricados en colaboración con el arquitecto D. Miguel de Oriol (Fig.23). Este edificio tiene un núcleo rígido al que



**FIG. 23 – EDIFICIO ALTURA MADRID -  
ARTÍCULO BURÓN MAESTRO Y FERNÁNDEZ ORDOÑEZ.  
INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN**

se le añaden en el perímetro pilares prefabricados. Se trata de una obra de gran precisión técnica y con acabado al chorro de arena. Ambientalmente este edificio no ofrece ninguna novedad, de hecho, no es su preocupación a la hora de construirlo pero lo mostramos por ser el primero en altura que se realizó en España.

Después de este recorrido por diversos proyectos y sistemas teniendo en cuenta las ventajas o desventajas de cada tipo junto con otros factores, podemos ver que aunque la construcción industrializada no suponga en sí misma una mejora ambiental, presenta unas oportunidades que ayudan a gestionar los recursos.

Podemos obtener ciertas conclusiones de los proyectos analizados conforme al paso del tiempo. Las ventajas que podemos extraer del uso de los sistemas industrializados en la realización de proyectos son:

- La reducción del consumo de los materiales de construcción puesto que cada proyecto está pensado desde la optimización.
- La reducción y separación selectiva de los residuos generados en los procesos de fabricación y obra junto con las oportunidades de aprovechamiento.
- El aumento en el potencial de recuperación de componentes y materiales invertidos cuando se emplean juntas secas y reversibles.
- El retorno de los recursos empleados al proceso de fabricación.

Por otro lado también tenemos que tener cuidado para que ciertos aspectos no se conviertan en desventajas:

- La dificultad de separación de los materiales y la imposibilidad de su reutilización o reciclaje si utilizamos uniones por adhesión o materiales compuestos.
- El posible aumento de la mochila ecológica de los materiales ya que casi todos son de industrialización intensiva.
- La falta de inercia térmica, sobre todo en los sistemas más ligeros, puede incidir en la climatización.
- La utilización de sistemas informatizados a la hora de proyectar crea un posible aumento de residuos puesto que al adaptarse los paneles base a una geometría específica se crean más recortes, desaprovechamientos de material,...



### 3.3 Cronograma



FIG. 24 – EVOLUCIÓN HISTÓRICA – ELABORACIÓN PROPIA



#### 4. ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES EN LA ACTUALIDAD

En otro capítulo de su tesis *Wadel (2009)* hace un interesante análisis del estado actual de la vivienda modular teniendo en cuenta siempre el medio ambiente. Esto es de utilidad para saber qué técnicas, materiales y pensamientos existen hoy día sobre este tema y poder de esta manera extrapolar a centros escolares.

Un aspecto importante a tener en cuenta antes de analizar los distintos prototipos actuales fue que el primer contenedor que se transportó fue en 1956. Las medidas estándar que tenía ese módulo transportado fueron: 2,44 m de ancho y de alto por 6,12 m de largo. La arquitectura se ha interesado mucho por estos contenedores y queda visto en múltiples proyectos y obras que se han realizado con unas medidas similares o directamente con las mismas cajas de transporte reduciendo así las tareas en obra a la cimentación e instalaciones.

Pensar en el transporte forma parte de un pensamiento sostenible.

##### 4.1 Módulos estándar y módulos adaptados

Estos sistemas modulares que, ya sean permanentes o temporales, se conforman tridimensionalmente y que casi no se realiza ninguna operación en obra. También se incluyen los sistemas estandarizados que sí que se adaptan a condiciones particulares o, al revés, la construcción modular se adapta a estos requerimientos.

Casi todos los módulos de alquiler tienen unas medidas ISO para poder transportarlos sin problemas y que además al combinarlos formen espacios mayores o una adición de unidades (Fig.25).

La estructura es un bastidor tridimensional que cuenta, normalmente, con cuatro pilares que, a partir de juntas atornilladas, se unen a un forjado y una cubierta.

Estos módulos tridimensionales se pueden construir por completo en madera aunque el más utilizado es el acero mediante secciones tubulares y perfiles laminados. Pueden construirse edificios de hasta tres plantas sin una estructura independiente. Cuando se necesita más apoyo estructural suelen utilizarse perfiles extruidos.



**FIG. 25 – TRANSPORTE MÓDULOS ESTÁNDAR -**  
[HTTP://TDD.ELISAVA.NET/](http://TDD.ELISAVA.NET/)



**FIG. 26 – AMPLIACIÓN TEMPORAL -**  
[HTTP://PORELFORODEMISWEBS.FILES.WORDPRESS.COM/](http://PORELFORODEMISWEBS.FILES.WORDPRESS.COM/)



**FIG. 27 – MÓDULO SISTEMA BALLOON FRAME-**  
[HTTP://WWW.PROPROFS.COM/](http://www.proprofs.com/)



**FIG. 28 – PANELES MACIZOS MADERA LAMINADA. PARÁSITO  
 DE LAS PALMAS, RÓTERDAM -**  
[HTTP://TECTONICABLOG.COM/](http://tectonicablog.com/)

El peso puede variar según si es un forjado ligero o pesado aunque ambos cuentan con la misma base y una capa de hormigón de compresión.

Para los cerramientos verticales tanto exteriores como interiores suelen usarse paneles tipo sándwich de dos hojas de acero lacado grecado con el núcleo de aislante térmico. Las carpinterías normalmente suelen ser de aluminio. La cubierta tiene un falso techo de placas de acero lacado, aislamiento térmico y en la parte superior una hoja de chapa plegada de acero galvanizado curvada que lleva las aguas hacia unos canalones en los lados menores que las llevan hasta las bajantes entre los pilares.

Los módulos suelen transportarse en camión y totalmente montados ya sea con todos sus lados cerrados o con unas protecciones para los lados que se han previsto abiertos. A veces, gracias al poco peso del sistema, se puede trasladar más de un módulo en altura. Cuando el transporte es en barco, se pueden llevar hasta tres o cuatro alturas ya que no existe esta limitación.

La vida útil se estima en unos 30 años o más dependiendo del mantenimiento o daños que hayan recibido. Gracias a la manera en la que se construye, mediante juntas secas, se puede sustituir fácilmente paneles o cualquier elemento deteriorado.

Este tipo de construcciones además son un gran ejemplo para las necesidades temporales del mercado como en los centros escolares de Cataluña cuando las escuelas originales están siendo construidas, rehabilitadas o ampliadas. Podemos ver como numerosos edificios son desmontados, trasladados a fábrica para rehabilitarlos para más tarde montarlos en un nuevo emplazamiento. Realizan todo el ciclo en apenas seis semanas.

Aunque estos módulos tridimensionales ligeros suelen construirse con acero, también se producen con madera. Podemos hablar de dos tipos: la que se basa en el balloon frame (Fig.27) que consiste en unos bastidores y tablas del mismo material y la que consiste en unos paneles macizos de madera laminada (Fig.28) con cierta capacidad estructural. Mediante ambos sistemas se puede estructuralmente apilar módulos hasta cuatro plantas. También puede alojarse aislante térmico en los muros exteriores que combinado con la madera, consiguen valores muy reducidos de transmitancia térmica.

Como las dimensiones suelen ser similares a los módulos de acero, el transporte se realiza de idéntica manera.

Cuando es necesario alcanzar mayores alturas se suele recurrir a dos tipos de estructuras adicionales. La primera consiste en una plataforma elevada montada sobre pilares sobre la que se apoya el edificio modular. La segunda, para alturas mayores, se basa en una retícula de celdas que alojan los módulos como si fuera un botellero gigante (Fig.29); de esta manera se pueden alcanzar de seis a ocho alturas. Las estructuras se realizan con perfiles de acero extruido o plegado y se ensamblan mediante uniones atornilladas de manera que sigan siendo modulares, desmontables y recuperables.

Por el bajo peso del sistema constructivo, estas construcciones pueden soportarse mediante cimentaciones superficiales o sobre dados de hormigón en el suelo sin que sea necesario excavar. Cuando el suelo tenga una baja resistencia sí que es necesario una cimentación más profunda aunque siempre con dimensiones mucho menos a las habituales ya que el peso de estos edificios suelen ser entre un 15 y un 30% del peso de un edificio convencional.

Algunas empresas como la inglesa Portakabin que creó su empresa subsidiaria Yorkon (Fig.30), han ampliado su línea de producto ofreciendo soluciones tanto constructivas como arquitectónicas de una mayor calidad y complejidad para edificios ya tengan un carácter semipermanente o permanente. Esta empresa en concreto se ha dedicado a la realización de oficinas, hoteles, escuelas y algunas viviendas colectivas modulares. Yorkon responde a un primer tipo de construcción modular. En este caso se considera una unidad modular básica que se repite por adición consiguiendo así un sistema más eficiente.

El camino inverso es aquel que se empieza pensando el edificio para finalmente llegar a la célula lo que supone una organización modular del proyecto. Aunque técnicamente presenta más inconvenientes que la primera, la empresa asturiana Modultec (Fig. 31) trabaja de esta manera, construyen edificios a partir de secciones volumétricas prefabricadas. Projectistas y especialistas trabajan a la par para adaptar el proyecto a una modulación que sirva para prefabricarlo y transportarlo. La estructura se basa en perfiles de acero y cerramientos de distintos materiales. Debido a que las estructuras pueden quedar expuestas para acabar de ser montadas en obra, no se puede alcanzar el acabado total en fábrica debiendo hacerlo en su ubicación final.



**FIG. 29 - ESTRUCTURA METÁLICA BOTELLERO -**  
[HTTP://WWW.ARYSE.ORG/](http://www.aryse.org/)



**FIG. 30 – YORKON - WWW.BRIDGESCOMMUNICATIONS.CO.UK**



**FIG. 31 – MODULTEC - WWW.LACASAPORELTEJADO.EU**





**FIG. 32 - SISTEMA REACTION -** [HTTP://WWW.UBIKO.ES](http://www.ubiko.es)



**FIG. 33 - MODULAR ACCOMMODATION SYSTEM -**  
[HTTP://WWW.IDLEARCH.COM.AU](http://www.idlearch.com.au)



**FIG. 34 - DOMINO.12 -**  
[HTTP://ARQUITECTURASYMAS.BLOGSPOT.COM.ES](http://arquitecturasymas.blogspot.com.es)

Una novedad en las construcciones temporales ha sido el Sistema Reaction (Fig. 32) creado a raíz de la necesidad de realojar rápidamente a las personas tras una catástrofe natural. La idea en la que se basó su creador fue una taza de café volteada. Podemos hablar de una estructura aislada y rígida con espesor de 7cm que necesita dos minutos para montarla y sin maquinaria; únicamente con la ayuda de cuatro personas. El transporte es eficiente puesto que al ir ensamblado ocupan muy poco volumen y con ello disminuye el costo. Según se dispongan pueden formar agrupaciones u otras y mediante piezas especiales unirse además entre ellas.

Un artículo del blog de UBIKO que redactó y que habla sobre esto: <http://www.ubiko.es/sistema-reaction-casas-de-emergencia/>

#### 4.2 Proyectos experimentales

Gracias al bajo peso y fácil transporte de los módulos, en Inglaterra se ha formulado el Modular Accommodation System, MAS (Fig.33), un sistema que se basa en una torre de acero estructural en el que pueden fijarse unidades estandarizadas a distintas alturas y con un máximo de hasta seis niveles. Con esto se pueden crear viviendas de 20, 40 y hasta 80 metros cuadrados por planta según estén unidos o no los cuatro módulos por planta. La torre se construye lo primero y tiene tanto las cimentaciones como las instalaciones por acometidas removibles, el núcleo de comunicación vertical a la vez que actúa como grúa elevadora de los módulos que más tarde se fijarán a esta por medio de anclajes mecánicos. La idea principal es que la unidad de vivienda sea permanente pero el edificio no, es decir, que el módulo viaje con su propietario a distintos lugares a lo largo de su vida donde habrá una nueva torre a la que acoplarse. Esto es posible por el bajo precio de transporte.

En la edición del año 2004 de Construtec, salón de la construcción de la Feria de Madrid, se presentó un proyecto llamado domino.12 (Fig.34) (Reyes, 2008). Era una propuesta de edificio modular desmontable compuesto a partir de elementos de catálogo compatibles entre sí. El objetivo era conseguir, de manera rápida, viviendas colectivas que se adaptaran a las necesidades de los distintos ocupantes. El proyecto es un continuación de un estudio posdoctoral llevada a cabo por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid por el profesor J. M. Reyes y con ayuda de alumnos y docentes. Se construyó el prototipo para la feria y cuando terminó se recuperaron los componentes. La estructura utilizaba un sistema basado en pilares y vigas modulares de acero combinadas con vigas

de madera laminada. Los forjados se realizaron mediante viguetas y tableros contrachapados de madera.

Un artículo del blog de UBIKO que redactó y que habla sobre esto: <http://www.ubiko.es/domino-21/>

El grupo de Actar Arquitectura formuló en 1998 un proyecto de viviendas que se basaba en un menú de módulos intercambiables llamado Casas a la carta. Estas casas iban a ser construidas en distintas localizaciones de Nantes, Francia. Los módulos son una retícula de 0,90x 4,50 m en el suelo y una altura de 2,80 m. La estructura era un bastidor de acero fija que permite el acoplamiento con otras unidades tanto en vertical como en horizontal. Los cerramientos exteriores e interiores se pensaron con paneles de diversos materiales, colores, texturas,... Estas viviendas de catálogo se preveían totalmente prefabricadas y trasladadas a los emplazamientos.

Parecida a la Yacht House (Fig.35) que fue proyectada en el año 1984, en 1988 R. Horden y A.Volger desarrollan un sistema de células tridimensionales prefabricadas completamente combinables. Se inspiran en la calidad y precisión de la industria del automóvil, navegación y aeronavegación. En obra la construcción del edificio se limita al montaje de los módulos sobre las cimentaciones con la ayuda de unas grúas. El sistema constructivo consiste en un bastidor tridimensional con perfiles de acero con diferentes opciones de cerramiento, divisiones interiores, cubiertas, balcones, etc., y distintas variaciones para la personalización del proyecto. Aunque el ancho de los módulos es de tres metros, se pueden combinar formando anchos de 6, 9 o 12 metros. El sistema Skydeck tiene además otras innovaciones como la aplicación informática para controlar la climatización y la motorización de las protecciones solares y poder así ahorrar energía.

El proyecto APTM (Fig.36) se presentó el año 2005 en el salón Construmat de la Fira de Barcelona. A J. Bohigas lo que le interesaba era potenciar la construcción de viviendas adaptables a las necesidades sociales, de mínimos espacios y de bajo coste. Un prototipo era Chiken que aprovechaba los materiales de catálogo y al combinarlos conseguía formarse un esquema modular tridimensional ligero. Los materiales podían recuperarse pero lo más interesante es la utilización temporal del suelo ya que puede deconstruirse en su totalidad.

El proyecto Ten Year hotel (Fig.37), del año 2004, apareció gracias a reaprovechamiento de una estructura metálica situada en un solar de Montreal. El solar estaba destinado a la construcción de un



FIG. 36 - YACHT HOUSE - [HTTP://LEIBAL.COM/](http://leibal.com/)



FIG. 35 – APTM - [HTTP://WWW.DANIELTOSO.COM/](http://www.danieloso.com/)



FIG. 37 – TEN YEAR HOTEL -  
[HTTP://WWW.HOTELCHATTER.COM/](http://www.hotelchatter.com/)

hotel pero, al estar en ese momento desocupado, se utilizaba para usos temporales. Esta estructura estabilizaba las fachadas antiguas y soportaba los esfuerzos horizontales de los edificios colindantes. Al consistir en una retícula de acero con medidas de contenedores, permitía la ubicación de módulos como si de botellas se trataran. Las habitaciones del hotel se obtienen a partir de uno o más módulos pareados y la conexión entre ellos se realizaba a través de pasarelas. Al conjunto se le añadía la circulación vertical y otros servicios del hotel también realizados con prefabricados.

En Nueva York y en concreto en el estudio de los arquitectos LOT-EK (Fig.38) basaban sus propuestas en la prefabricación y aprovechamiento de elementos industrializados aunque vengan de otro sector. Recurren al módulo, a la transportabilidad y transformabilidad para conseguir una arquitectura interesante desde el punto de vista ambiental. En sus obras utilizan tanto módulos tridimensionales ligeros como contenedores como en Mountain Inn de California. Los contenedores de acero están forrados en su interior por una capa de aislamiento térmico y luego se revisten con madera. El edificio se eleva del suelo por una estructura que descansa sobre unas cimentaciones puntuales.



**FIG. 38 - LOT-EK - WWW.ARCH2O.COM**



**FIG. 39 - HOTEL I-SLEEP - WWW.UBIKO.ES/**

El estudio Bauart Architekten de Suiza, que se especializó en construcciones modulares, desarrolló un prototipo de hotel temporal de madera llamado Expohotel en 1997. Inicialmente se pensó como un proyecto puntual para alojar visitantes de alguna exposición temporal pero finalmente se convirtió en un prototipo de hotel de quita y pon aplicable a muchos casos. El sistema constructivo utilizado fue el Modular-T. Se trata de una hilera de habitaciones de una planta con módulos que se alinean y sus lados menores dan al corredor de acceso y al otro lado a la fachada. Está un poco elevado del suelo y soportado por cimentaciones puntuales y superficiales.

Un caso similar al anterior que encontramos en España es el hotel I-Sleep (Fig.39) que se construyó para la Expo de Zaragoza en 2008 por el arquitecto Luis Garrido. Está conformado mediante módulos-contenedores cuyas dimensiones son de 12 metros de largo y 3 de ancho. Este proyecto se puede trasladar, reconfigurar y ampliar con gran facilidad ya que se desmonta y se vuelve a montar de una forma muy rápida además de que pueden volver a reutilizarse todos los materiales y componentes. Incorpora además los últimos adelantos en arquitectura sostenible que reducen el consumo energético en más del 40% respecto a un hotel convencional.

Un artículo del blog de UBIKO que redactó y que habla sobre esto: <http://www.ubiko.es/i-sleep-hotel-un-hotel-con-prefabricados/>



#### 4.3 Edificios modulares no deconstruibles

Estos edificios al no estar pensados para ser deconstruidos y vueltos a construir, resulta más difícil reutilizar, rehabilitar y reciclar los materiales, unidades y componentes.

En EEUU, Anderson Architecture desarrolló a partir de 2003 distintos proyectos que se basaban en un prototipo de edificio modular llamado Yosemite Cabin (Fig.40) que era un sistema ligero realizado de estructura de tubulares de acero y cerramientos tanto verticales como horizontales de paneles SIPS de 15 cm de espesor. El prototipo tenía la planta baja libre, los servicios agrupados y dos plantas dedicadas a vivienda. La retícula sobre la que se basa el proyecto es de 2,44 x 3,66 x 2,44 m. Cada planta ocupa tres módulos de ancho por cinco de largo con juntas atornilladas. Contaba con instalaciones solares tanto térmicas como fotovoltaicas y también captación de aguas de lluvia y reciclaje de aguas grises. Las cimentaciones suelen ser superficiales, puntuales y de reducidas dimensiones gracias al bajo peso del sistema.

En 2001, Piercy Conner, un estudio londinense de arquitectura, diseñó un edificio de pequeños pisos modulares de 25 m<sup>2</sup> para profesionales que buscaban vivir cerca de sus trabajos. Estas viviendas se llamaban Microflat (Fig.41). Esto trajo polémicas acerca del tamaño mínimo de una vivienda. La construcción de una vivienda asequible basada en la tecnología de construcción de los yates y caravanas se resuelve sobre un bastidor tridimensional de tubulares de acero que incluye un núcleo prefabricado de cocina y baño, tanto cerramientos exteriores como interiores, carpinterías, etc., entero construido en fábrica. Se transporta en camión y el montaje se hace acoplando la célula a un núcleo de servicios y comunicación vertical de un modo parecido a la Nagakin Tower de K. Kurosawa. La diferencia más notable con otros sistemas es el novedoso tratamiento de fachada que juega con volúmenes cerrados y balcones seccionando los módulos a 45 grados.

Una empresa de California, Living homes (Fig.42), que está especializada en la prefabricación de casas a medida basándose en un sistema modular de estructura con perfiles de acero. La prefabricación de esas unidades tridimensionales con los acabados y el montaje de todos los módulos en obra pueden realizarse en apenas tres días. Algunas de las tareas de obra son construcción húmeda. La utilización de materiales que tienen un bajo impacto ambiental, la calidad del aire interior, el aislante que ahorra energía, el uso de energías renovables, etc. consigue reducir el consumo energético hasta un 36% respecto del estándar obteniéndose la categoría Gold del sistema LEED (Leadership in Energy and



**FIG. 40 - YOSEMITE CABIN -**  
[HTTP://THEDESIGNHOME.COM/](http://thedesigntime.com/)



**FIG. 41 – MICROFLAT 2001 - WWW.ARCHICENTRAL.COM**



**FIG. 42 - LIVING HOMES -**  
[HTTP://PURECONTEMPORARY.BLOGS.COM](http://purecontemporary.blogspot.com)



FIG. 43 – HABIDITE- [HTTP://WWW.DOMOTICAVIVA.COM/](http://www.domoticaviva.com/)



FIG. 45 – OLDCASTLE - [WWW.OLDCASTLEPRECAST.COM](http://WWW.OLDCASTLEPRECAST.COM)



FIG. 44 – RATHENOW - [WWW.ARCHITEKTURPREIS-BETON.DE](http://WWW.ARCHITEKTURPREIS-BETON.DE)

Environmental Design). Por otro lado, cuando la casa llega al final de su vida útil, pueden reutilizarse hasta un 76% de los materiales.

Una empresa española que se dedica a la construcción modular pesada es Habidite (Fig.43) de la cual nos habla *Gómez-Jáuregui (2009)*. Su planteamiento teórico se basa en la modulación y racionalización de la construcción tradicional de manera que ofrecen la prefabricación de un edificio a través de módulos de hormigón armado que combinándose con distintos materiales puede parecer una construcción in situ Pero obteniéndose unas extraordinarias calidades con un alto grado de sostenibilidad, eco-tecnología y eficiencia energética. Se han de estudiar bien los encuentros entre distintos materiales puesto que el edificio cuando está acabado es monolítico. Los módulos semiacabados en fábrica se llevan a obra con un camión donde se posicionan y conectan mediante apoyos elásticos y anclajes mecánicos. Las canalizaciones que se prevén para las juntas se hormigonan y se unen los módulos entre sí de manera definitiva y transmitiéndose esfuerzos de unos a otros. Se puede realizar un edificio de hasta 6 plantas.

Otro sistema pesado basado en el hormigón armado es el Oldcastle (Fig. 44) que tiene 60 fábricas en Estados Unidos. Este grupo se dedica a muchas áreas de la construcción pero la que nos interesa es la de construcción modular con hormigón prefabricado. Los módulos son autoportantes, monolíticos y pueden conseguirse hasta 6 plantas. Para aligerarlos se diseñan con hormigón nervado de manera que se reducen los espesores. Las cimentaciones pueden ser superficiales y prefabricadas gracias al poco peso con respecto a las construcciones tradicionales. El módulo es la unidad estructural y puede coincidir o no con la unidad funcional. La parte exterior de cerramiento, exceptuando las juntas y terminaciones de cubierta, llega completamente acabada mientras que en la parte interior se reciben los acabados.

Alrededor de 1998 J. Keim y K. Sill, ambos alemanes, ampliaron un edificio (Fig. 45) en Rathenow (Alemania) añadiéndole una parte que se conformaba a través de una retícula de estructura de hormigón armado que alojaba 24 módulos prefabricados. La construcción de las unidades que se destinaban a espacios habitables y sanitarios se realizaba en fábrica por lo que las dimensiones se tenían que adaptar a las medidas del camión. Los módulos prefabricados tenían una estructura tridimensional de perfiles y tubos de acero sobre los que se colocaban los cerramientos. Los opacos

estaban conformados por chapa de acero, láminas de impermeabilización, aislante térmico y paneles de madera o yeso laminado en el interior. Las carpinterías son de perfiles de aluminio.

La empresa Yorkon construyó el edificio residencial Murray Grove (Fig.46) de Londres entre 1998 y 1999. Tiene cinco niveles y planta en forma de L y se resuelve apilando 74 módulos tridimensionales ligeros autoportantes de acero. En el encuentro de las dos alas se sitúa un núcleo de comunicación vertical que, aunque es prefabricado, no corresponde con la modulación de las viviendas. Mientras se prefabricaban elementos, se realizaba la cimentación y acometidas. Diez días se tardó en montar los componentes prefabricados mientras que se necesitaron 17 semanas para instalar los elementos que no se montaban en fábrica. Finalmente se tardó 44 semanas que son cuatro meses y medio menos que una obra tradicional.

L. Feduchi diseñó en 1993 con módulos autoportantes estándar un centro de información en Puertollano para Elcogás (Fig.47). Como tenían poco tiempo para realizar la obra optaron por un sistema modular como las oficinas temporales de alquiler aunque con modificaciones en los acabados. Cuenta con seis módulos de estructura con tubulares de acero de 2,44x 7,20m divididos entre dos plantas y apoyados sobre una losa de hormigón. La estructura se sobredimensionó porque se asentaba sobre terreno de relleno. Los forjados eran de chapa de acero galvanizada y plegada, colaborante y con una capa de compresión de hormigón armado. Los revestimientos eran tableros de contrachapado hidrófugo de madera por el exterior, placas de yeso laminado en el interior y en medio aislamiento térmico de espuma de poliuretano.

En 2001 Dollmann + partner construye un edificio modular de oficinas en Fellbach, Alemania (Fig.48). Tiene cuatro plantas y se basa en una retícula tridimensional de perfiles de acero sobre la que se colocan los módulos prefabricados destinados a espacios de trabajo y a los locales sanitarios como si fuera un botellero ya que llegan totalmente acabados a excepción de ciertas partes del revestimiento. La fachada utiliza placas de hormigón con un núcleo de aislamiento térmico en los testeros y en los frentes muro cortina con perfiles de madera y vidrio con cámara. La cubierta se realiza con una losa de hormigón armado prefabricado más las capas de impermeabilización y aislante con un añadido de cubierta vegetal.

Erne, una empresa suiza que originalmente se dedicaba a todo tipo de edificaciones de madera ha ido especializándose en la construcción de escuelas, hospitales, oficinas y demás pero siempre modulares



**FIG. 47 - MURRAY GROVE -**  
[MODERNARCHITECTURELONDON.COM](http://MODERNARCHITECTURELONDON.COM)



**FIG. 46 – ELCOGÁS -** [WWW.TECTONICA.ES](http://WWW.TECTONICA.ES)



**FIG. 48 – DOLLMANN -** [HTTP://DETAIL-ONLINE.COM/](http://DETAIL-ONLINE.COM/)





**FIG. 49 – MODULTECH - [WWW.MODULTEC.ES](http://WWW.MODULTEC.ES)**



**FIG. 50 - CONTAINER CITY - [WWW.TRINITYBUOYWHARF.COM](http://WWW.TRINITYBUOYWHARF.COM)**



**FIG. 51 - MICROFLAT 1991 - [MODULARHOMENEWSEEK.BLOGSPOT.COM](http://MODULARHOMENEWSEEK.BLOGSPOT.COM)**

con su Modul-Tech (Fig.49). Aunque no parezcan ni modulares ni temporales, la mayoría de las veces los edificios pueden ser desmontados, trasladados y vueltos a montar en otro lugar. El sistema de construcción se basa en una estructura de módulos tridimensional y cerramientos de madera con dimensiones variables aunque cercanas a los 3 o 3,5 m de ancho y hasta 18 m de largo para el transporte. Estos módulos cuentan con aislamiento térmico grueso, son completamente prefabricados y pueden conseguirse hasta seis plantas. Los cerramientos verticales o forjados pueden recibir aplacados de hormigón para resolver ciertas exigencias. El montaje se realiza, una vez haya llegado el material a obra, entre tres y cinco días y se necesitan tres semanas más para los acabados y ajustes.

#### **4.4 Edificios modulares deconstruibles y reconstruibles.**

Estos edificios son los más interesantes ya que hace posible que puedan volver a utilizarse o que sus recursos puedan ser reaprovechados una vez desmontados.

El sistema constructivo Container City con el proyecto Fawood Children' Centre en Londres fue reconocido con el premio Stirling en el año 2005 (Fig.50). Se basa en el apilamiento y unión de contenedores que ya no cumplían las exigencias del transporte y que combinándolos con una estructura y cerramientos verticales independientes permite la construcción de una o más plantas. La estructura de los mismos es de un bastidor y chapa corrugada de acero y que mediante un trasdosado interior con aislamiento térmico y revestimiento de aplacado dejando la cara exterior sin modificar. Las carpinterías se colocan mediante un troquelado de los laterales de la chapa. Las instalaciones y la aplicación de pavimentos y falsos techos se realizan también atendiendo a que los espesores siempre sean pequeños.

La empresa inglesa Trinity Modular Technology, basándose en la prefabricación modular de cocinas y baños, construyó en 1991 un prototipo de vivienda para una persona llamado Microflat (Fig.51). Esto se basaba en un contenedor de chapa plegada de acero de 2,43 x 3,05x 6,09 totalmente acabado en fábrica. Mediante pletinas en los ángulos del contenedor se realizaba la unión horizontal con otros módulos y la estructura horizontal de pasillos, balcones y vertical hasta llegar a una altura de cinco plantas. Para no restar medida al interior de cada habitáculo la envolvente es muy delgada formada por tableros de madera de alta densidad, placas de aislamiento y la chapa plegada de acero en forma

de omega. El forjado está resuelto con una chapa plegada de onda a la que se le atornilla un tablero de contrachapado y a este se le adhiere un pavimento ligero. Sólo en los refuerzos de los ángulos utilizan perfiles de acero extruidos. Aunque el sistema se pensó para hormigonar entre módulos y formar un conjunto monolítico, también es posible terminarlo con un cerramiento exterior ligero y montado en seco.

Guggenbichler y Netzer construyeron en Munich, Alemania, en el año 1997, un edificio de oficinas temporal (Fig.52) mediante un apilamiento en tres plantas que contaba con dos filas de módulos autoportantes de 2,44x 2,80x 6 m organizadas a través de un pasillo central que se resolvía dentro de las unidades. El hall y la comunicación vertical se realizaban mediante una estructura independiente pero coordinada con la anterior de perfiles de acero. Aunque cada módulo tenía su cubierta impermeable, se puso una chapa plegada y elevada encima de la última planta entre 0,50 y 1,50m para generar una cámara de aire ventilada apoyada gracias a pilares y viguetas de acero. Los módulos tienen un bastidor estructural de perfiles de acero y paneles para el cerramiento de chapa grecada con el núcleo de aislamiento térmico. Uniéndose entre sí se pueden obtener espacios de casi 6x15m. Las cimentaciones son superficiales debido al poco peso del sistema y se resuelven mediante dados de hormigón prefabricado.

Una empresa de las Palmas de Gran Canaria, Habitainer oferta edificios modulares con la reutilización de los contenedores de transporte regulados por las normas ISO que van quedando fuera de uso (Fig.53). Esta caja posee mucha resistencia estructural pudiendo apilarse hasta 12 niveles por tanto para adecuarlos al uso de vivienda no es necesario refuerzos estructurales, únicamente se abren huecos para las carpinterías, se incorpora aislamiento térmico, revestimientos interiores y se le dota de instalaciones. La unidad básica tiene 2,44x2,80 con largo variable y llega a obra completamente acabado. Los módulos se pueden combinar entre si quitando uno o varios de sus lados y formar espacios más grandes. Las escaleras, balcones y demás elementos también se realizan de manera prefabricada mediante existencias en el mercado como pueden ser andamios. Las cimentaciones son superficiales, ligeras y recuperables.

En la línea de producto de Algeco, una empresa de alquiler y venta de módulos de usos temporales más grandes de Europa, destaca Algeco Progress (Fig.54) que se dedica a la realización de edificios con módulos pero con mayores prestaciones que los estándares aunque siguen siendo de carácter



**FIG. 52 - GUGGENBICHLER Y NETZER - [WWW.BKI.DE](http://WWW.BKI.DE)**



**FIG. 53 – HABITAINER - [HABITAINER.BLOGSPOT.COM.ES](http://HABITAINER.BLOGSPOT.COM.ES)**



**FIG. 54 - ALGECO PROGRESS - [WWW.ARCHIEXPO.FR](http://WWW.ARCHIEXPO.FR)**

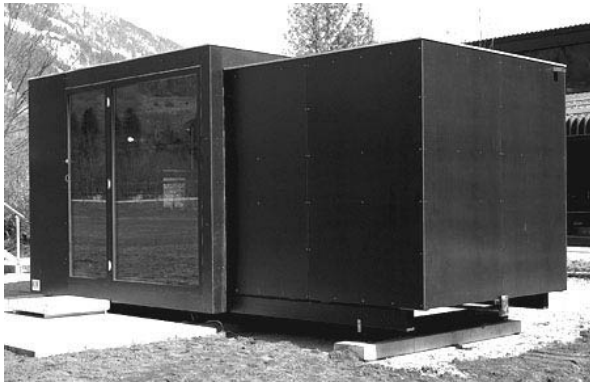


FIG. 57 - KAUFMANN 96 -

[HTTP://EAABDIPROYECTOS.BLOGSPOT.COM.ES/](http://EAABDIPROYECTOS.BLOGSPOT.COM.ES/)

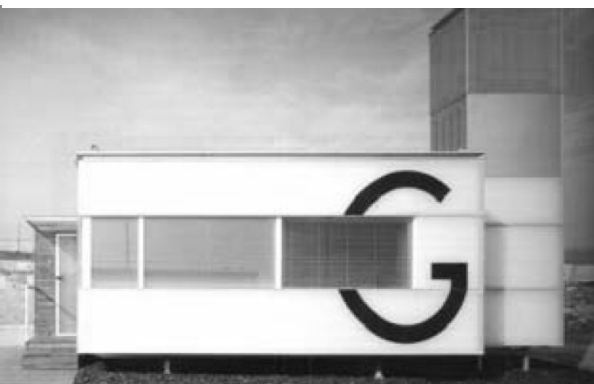
FIG. 56 – OPTION - [HTTP://TINY-HOUSES.DE/](http://TINY-HOUSES.DE/)

FIG. 55 - PROYECTO G – TESIS WADEL (2009)

temporal y por ello desmontables y reutilizables con unas dimensiones de ancho fijo 2,44m, altura entre 2,60 y 2,80m y el largo variable aunque la más común de las medidas es 6 metros. El sistema constructivo es un bastidor de pilares y vigas de acero laminado sobre los que se atornilla el cerramiento en forma de tableros con aislante. En obra sólo se realizan las cimentaciones, acometidas y juntas tanto interiores como exteriores.

En 1999, el estudio Kaufmann 96 desarrolló unas viviendas modulares completamente prefabricadas en el taller con estructuras (Fig.55), cerramientos y materiales de madera y derivados en Alemania. El modelo Su-Si está pensado para ser transportado en camión en una sola pieza y montado sobre pequeños pilares de acero. Las dimensiones son 3,50x 12,50x 3m. La estructura se resuelve con madera laminada de distintas secciones cada 60 o 120 cm. Los cerramientos horizontales y la base de la cubierta se realizan con contrachapado. La retícula se rigidiza añadiendo tableros de virutas de madera orientadas, atornillados por la cara interior y dejando un espacio que alojará al aislamiento térmico. La capa exterior de los cerramientos se resuelve con tablero contrachapado de madera lacada y la cimentación de los pilares es una zapata corrida de hormigón.

El proyecto del estudio suizo, Option (Fig.56), es una vivienda prefabricada en dos módulos de madera tridimensionales y autoportantes que se llevan a obra en camiones y que se montan sobre una solera de hormigón in situ que hace de cimentación, en un solo día. La casa tiene un salón, comedor y cocina en la planta baja y en la superior dos dormitorios y un baño. El volumen es de 4,14x 10,40x 5,95m. La estructura es de perfiles laminados que se revisten en el lado exterior por lamas, en el interior por tableros contrachapados y el núcleo una barrera de vapor y aislamiento térmico. Tanto los pavimentos como falsos techos están acabados con madera mientras que la cubierta es de chapa plegada de acero galvanizado. La calefacción funciona con madera o biomasa.

Javier Mozas diseña en Vitoria- Gasteiz una oficina modular transportable mediante camión y adaptable a cualquier emplazamiento ya que su ligereza hace que no sean necesarias grandes cimentaciones, basta con dados de hormigón. El proyecto, idea del estudio A+T, se denomina G (Fig.57) y consiste en dos contenedores que alojan la oficina (G1) y el baño (G2). La estructura es de tubos de acero soldados y el cerramiento vertical se compone de dos hojas de vidrio, tablero aglomerado hidrófugo revestido en blanco, espuma sintética y finalmente placas de cartón yeso. En el forjado se utiliza la misma estructura y cerramiento de doble tablero de contrachapado de madera

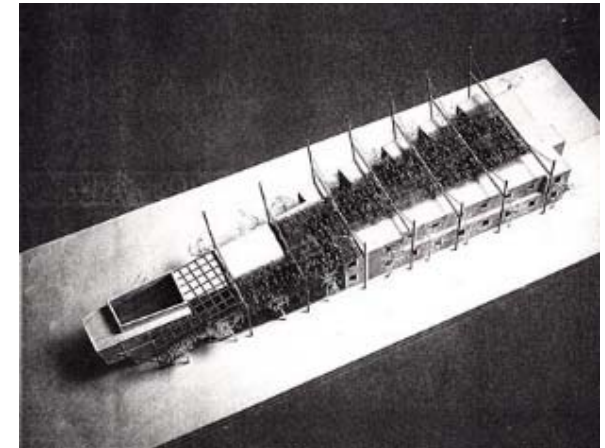


y esto descansa sobre los pórticos de perfiles extruidos de acero apoyados en la cimentación. En la cubierta se utilizan paneles tipo sándwich de chapa y con el núcleo con aislamiento y se disponen sobre el falso techo de cartón yeso y aislamiento de lanas minerales. Las carpinterías son de aluminio extruido.

En París, en tres meses y medio se construyó un edificio modular que tenía diversos usos y duró los dos años y medio que tardó en realizarse la construcción definitiva. El concurso de 1991 para realizar el proyecto temporal lo ganó Nasrine Seraji (Fig.58) y tenía 10 días para el proyecto y 4 meses para la elaboración del documento de obra. Aun con esos tiempos consiguió tal calidad que cuando tenía que ser retirado, algunos habitantes del barrio intentaron impedirlo. Las preexistencias del emplazamiento condicionaron el proyecto de manera que la mejor solución se alcanzaría mediante módulos tridimensionales ligeros y cerramientos metálicos ya que no necesitaban cimentaciones importantes, en este caso una cimentación corrida de hormigón armado de sólo 20 cm de profundidad.

Spacebox (Fig.59), un proyecto del estudio De Vijf de Rotterdam en Holanda consiste en una vivienda de un módulo que se puede transportar, agrupar y combinar de distintas maneras. Las unidades que vienen totalmente acabadas en fábrica, tienen 19m<sup>2</sup> repartido en 3m de ancho por 2,82m de alto y por 6,50m de largo y se equipan con un baño y una cocina integrada. Los paneles de fachada y cubierta son de tipo sándwich con acabado decorativo, resistencia al fuego, tablero contrachapado de madera, aislante térmico de poliestireno expandido y un acabado exterior laminado de poliéster y fibra de vidrio. El panel del suelo es de la misma composición pero descansa sobre viguetas de madera. Una estructura independiente de tubulares de acero a modo de pilares permite levantar hasta tres niveles de módulos autoportantes y descansando todo el conjunto sobre una cama de tubulares de acero galvanizado cuyas patas se apoyan en las losetas de hormigón que se realizan, junto con las instalaciones, previamente.

Un grupo de artistas de la universidad austriaca de Graz convocó en 1998 un concurso de viviendas para indigentes. El proyecto ganador se basa en una vivienda modular agrupable y apilable que viene totalmente acabado de obra y que cuenta con una sola habitación de 10m<sup>2</sup> que no tiene ni baño ni cocina. Es una estructura de perfiles de acero galvanizado extruidos soldados que conforman un bastidor tridimensional que recibe todos los cerramientos. Se pueden construir dos plantas que descansan sobre cimentaciones superficiales de hormigón armado mediante dados e incorporan



**FIG. 58 - AMERICAN CENTER PARIS -**  
CAELANBRISTOW.COM



**FIG. 59 – SPACEBOX -**  
IAINMASTERTON.PHOTOSHELTER.COM



**FIG. 60 - OFICINA GENERAL ESTADÍSTICA SUIZA -**  
[HTTP://BAUART.CH](http://bauart.ch)



**FIG. 61 - COMPACT HABIT -**  
[WWW.CONSTRUNARIO.COM](http://www.construnario.com)

cruces de San Andrés formadas por tensores de acero para rigidizar. Las fachadas tienen una piel de placas de fibrocemento mientras que en interior reciben un tablero de madera con aislamiento de gran espesor. La cubierta y forjado se resuelven de la misma manera solo que el cerramiento exterior de la primera es de chapa galvanizada de acero.

La construcción de la Oficina Federal de Estadística Suiza en 1993 dio origen a un sistema constructivo modular de madera que se llamó Modular-T (Fig.60). La primera construcción realizada fue un edificio de oficinas. Esta construcción resume las características del sistema. Se basa en una estructura de vigas y pilares de acero que dejando libre la planta baja y recibe los módulos acabados totalmente en taller. La durabilidad mínima son 30 años. Toda la madera utilizada para la estructura y cerramientos vienen de recursos forestales especiales en los que la madera está libre de toda toxicidad y generan materiales o componentes reciclables en un 95%. Los módulos se pueden aplicar sin necesidad de una estructura adicional hasta tres o cuatro plantas. Llevan incorporado en el forjado, fachadas y cubiertas aislamiento térmico de gran espesor.

Cataluña se diseñó por parte de X. Trgant y M. Morte junto con la empresa Constructora d'Aro el sistema Compact Habit (Fig.61) que es muy interesante porque sus unidades pueden recuperarse y el edificio puede ser trasladado. El módulo tridimensional puede apilarse hasta 6 plantas sin necesidad de estructura adicional. Las dimensiones son 5m de ancho por 3 de alto y 12 metros de largo. El sistema de fabricación se basa en un molde de tres piezas que tras hormigonarse y plegarse conforman el forjado y las paredes del módulo recibiendo más tarde la pieza de cubierta y haciendo las juntas con hormigón para conseguir un conjunto monolítico. El módulo recibe por dentro el aislamiento térmico y los distintos acabados como también un baño y un mueble que contiene la cocina ambos prefabricados. Los cerramientos exteriores y cubierta admiten distintos aplacados. Las unidades se llevan a obra totalmente acabadas y allí se montan sobre las cimentaciones previamente construidas.

#### 4.5 Solar Decathlon

El Solar Decathlon es una competición en la que se convoca a las universidades de todo el mundo con la finalidad de diseñar y construir viviendas que finalmente sean autosuficientes y totalmente eficientes energéticamente hablando además de plantear nuevos retos y tomar conciencia sobre el



medio ambiente. La competición comenzó en EE.UU en el año 2002, en 2010 apareció también en Europa, en 2013 en China y, por último, este verano de 2014 en Versalles, Francia.

Los diez parámetros a evaluar son la arquitectura, la ingeniería y construcción, la eficiencia energética, balance de energía eléctrica, condiciones de bienestar, funcionamiento de la casa, comunicación y sensibilización social, industrialización y viabilidad de mercado, innovación y sostenibilidad. Cada parámetro a evaluar va sumando puntos hasta hacer una puntuación máxima de 1000.

La primera edición del Solar Decathlon Europe tuvo lugar en Madrid en septiembre de 2010 y contó con 17 propuestas de tres continentes distintos (*Decathlon, 2010*).

La ganadora de esta edición fue la propuesta de Virginia “Polytechnic Institute & State University” (Fig.62). Esta propuesta ofrece una configuración abierta que conecta a los habitantes de la casa y a éstos con la naturaleza del exterior. El interior y el exterior se unen al abrirse “el Sistema Eclipsis”. Cada área de la vivienda tiene actividades específicas, pero se han diseñado para que sean flexibles y el usuario pueda cambiar su uso según sus propias necesidades. En cuanto a eficiencia energética vemos como el suelo de hormigón incorpora un sistema de calor radiante que calienta la casa a través de una bomba geotérmica que en invierno extrae calor de la tierra y en verano utiliza la tierra como refrigerante. Además, el sistema fotovoltaico del tejado tiene la capacidad de variar su ángulo para así maximizar la energía del sol.

La universidad española mejor clasificada fue el CEU Cardenal Herrera obteniendo una novena posición (Fig.63). Por las condiciones de portabilidad y ensamblaje que debe tener la casa, toda ella sigue una filosofía de prefabricación. A partir del módulo generado, esta unidad crece por adición a modo de costillas que tienen una unión en seco lo que hará más fácil su reciclabilidad. Además, la producción seriada nos permite un abaratamiento de costes y energía. El patio en la vivienda actúa como enfriador gracias a la ventilación cruzada, buscando crear un microclima. Así obtenemos un mayor confort climático en el interior de la vivienda sin apenas necesidad de emplear aparatos de climatización.



**FIG. 62 - PROPUESTA VIRGINIA -**  
[HTTP://2010.SDEUROPE.ORG/](http://2010.sdeurope.org/)



**FIG. 63 - PROPUESTA CEU -**  
[HTTP://2010.SDEUROPE.ORG/](http://2010.sdeurope.org/)



**FIG. 64 - PROPUESTA CANOPEA -**  
[HTTP://WWW.SDEUROPE.ORG/](http://www.sdeurope.org/)



**FIG. 65 - PROPUESTA PATIO 2.12 -**  
[HTTP://WWW.SDEUROPE.ORG/](http://www.sdeurope.org/)



**FIG. 66 - PROPUESTA RHOME FOR DENCITY -**  
[WWW.SOLARDECATHLON2014.FR](http://www.solardecathlon2014.fr)

En el año 2012, el concurso se celebró también en Madrid y se seleccionaron y participaron 18 equipos de 13 países diferentes (*Decathlon, 2012*).

La ganadora de esta edición fue la propuesta francesa titulada “Canopea” (Fig.64). Esta vivienda capta el 95% de la energía solar ya que está cubierto con paneles solares y el 35% de la lluvia. El proyecto consiste en una serie de casas individuales apiladas tanto en vertical como en horizontal conformando una pequeña torre. Posee una red inteligente que controla la calefacción, refrigeración, servicios, movilidad y las redes sociales. La “nanotower” tiene jardines, espacios de almacenaje y un sistema de reciclaje, además de una terraza al aire libre que ayuda a ampliar el espacio interior. Además este proyecto ganó el premio a la Accesibilidad.

La propuesta española mejor clasificada fue, en segunda posición, la andaluza titulada “Patio 2.12” (Fig. 65). Esta vivienda se basa en los patios andaluces que además de ser la principal estancia, se encarga de regular la temperatura. Propone una alternativa de espacio doméstico mediante la adición de «pabellones» en torno a un espacio intermedio, el patio. Un 70% de los materiales que se utilizan en este proyecto son reciclables o reusables. Además, un aspecto muy interesante e innovador que tiene evapotranspiración formado por un conjunto de tuberías que van goteando la fachada cerámica poco a poco para luego evaporarse, la casa “suda”.

Del 28 de Junio al 14 de Julio de este año se ha celebrado otra edición del Solar Decathlon Europe. Este año ha sido en la ciudad francesa de Versailles. Se han encontrado en ella 800 competidores de 16 países diferentes haciendo un total de 20 proyectos participantes (*Decathlon, 2014*).

La propuesta ganadora fue la del equipo “Rhome For Dencity” (*Dencity, 2014*) perteneciente a Italia (Fig.66). Obtuvo 840,63 puntos sobre 1000 que es el máximo. La propuesta consistió en un proyecto ecológico que estudiaba el contexto urbano cercano a Roma buscando recalificar y darle densidad a los límites de la ciudad mediante la movilidad sostenible para toda esta área. Tiene un núcleo estructural que sectoriza el espacio pero con una estructura que le permite mucha flexibilidad. Las vistas que se abren están protegidas y pensadas según el uso de la estancia para que tengan cada una las condiciones adecuadas de sombra y ventilación. Utilizan energía solar y medios pasivos y la elección de los materiales son tales que reducen tanto como sea posible el consumo de energía y son ligeros y de rapidez de instalación.

El equipo español mejor clasificado fue “Ressò” (*Resso, 2014*) obteniendo un décimo lugar y sumando un total de 776.24 puntos (Fig.67). Este proyecto se basa en un espacio comunitario y colectivo de carácter neutro de manera que los usuarios se adueñen y lo hagan suyo ya que el equipo insiste en que el modelo de vivienda actual es insostenible. Consigue la autosuficiencia mediante sistemas pasivos; en el muro sur tiene colectores solares recubiertos con doble piel de policarbonato además gracias a que es un gran espacio se originarán ventilaciones y renovaciones del aire. En cuanto a los materiales la idea es que cambien según el tejido urbano en el que se implante.

Un par de artículos del blog de UBIKO que redactó y que habla sobre esto son los siguientes enlaces:  
<http://www.ubiko.es/solar-decathlon-un-concurso-universitario-sobre-viviendas-eficientes/>  
<http://www.ubiko.es/solar-decathlon-europe-2014/>



**FIG. 67 – PROPUESTA RESSÒ -**  
**WWW.SOLARDECATHLON2014.FR**



## 5. HISTORIA Y ACTUALIDAD DE LA INDUSTRIALIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE CENTROS ESCOLARES

Aunque como ya hemos dicho en la actualidad las construcciones industrializadas es una opción minoritaria en el campo de la arquitectura. En los últimos años ha aumentado y en concreto ha aumentado en los centros escolares: desde 1990 se han realizado centenares de escuelas de forma mediante este sistema. Esto se debe a la necesidad de plazas escolares que ha habido en estos años en España sobre todo de Educación Infantil y Primaria.

Se ha considerado que la mayoría de estos colegios han sido un éxito. Esta opinión la comparten tanto las industrias por contar con ellos, los arquitectos por proyectar espacios más indicados para cada uso, la administración por conseguir terminar escuelas en tan sólo 8 meses,...

Aun así la construcción de escuelas industrializadas ha llegado tarde en comparación con el uso de este sistema en otro tipo de edificios y más aún en relación con otros países. En lo que a la arquitectura escolar en España se refiere podemos distinguir cuatro períodos principales y muy diferenciados según *Oriol Pons (2010)*:

### 5.1 Antes de 1970

Las primeras experiencias en la construcción industrializada de escuelas fueron proyectos puntuales de los años 1950 y 1960. Por ejemplo, en 1955 el arquitecto R. García con la empresa Durisol construyó cinco centros mediante sistemas industrializados en el Campo de Gibraltar. Otro ejemplo, en el barrio de Bellvitge de l'Hospitalet, Barcelona, se prefabricó la escuela "Pare Enric d'Ossó" (Fig.68) en 1967 con el sistema Estiot. Fue gracias a que la economía española estaba recuperándose de la situación de subdesarrollo en la que se veía envuelta y por la cual la mayoría de edificios se construían de manera artesanal y con materiales y técnicas locales.

### 5.2 Durante los años 1970

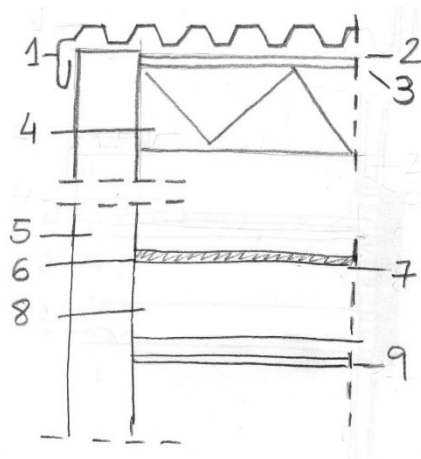
En esta década hay una importante prefabricación de escuelas por la falta de plazas escolares. Este problema ya venía del pasado pero aumentó con el éxodo de las zonas rurales a las ciudades con industrias. Para solucionarlo, el gobierno tomó ciertas medidas.



**FIG. 68 - ENRIC D'OSSÓ -**  
[HTTP://ESCUELATERESIANA.COM/](http://escuelateresiana.com/)



**FIG. 69 - ESCUELA TIPO NADECO –**  
ARTÍCULO ORIOL PONS. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN



**FIG. 70 - DETALLE 1**

- 1-Remate cubierta chapa grecada acero
- 2-Lámina asfáltica
- 3-Chapa doblada acero
- 4-Celosía cubierta acero
- 5- Fachada con placas "Durisol"
- 6-Fachada con placas "Durisol"
- 7-Viguetas de forjado IPN cada 1,5m
- 8- Forjado placas "Durisol"
- 9- Falso techo de "Durisol"

Un ejemplo a destacar es que en un concurso de 1977 se adjudicaron 191 centros docentes para realizar con prefabricados repartidos en 23 provincias españolas. En aquellos años se realizaban "proyectos tipo" que se repetían en cualquier punto del país sin tener en cuenta el lugar, la ciudad o el paisaje. Por ejemplo en 1978 "Nadeco" realizó en Sevilla varias "escuelas tipo" (Fig. 69).

Aunque es cierto que en este periodo se prefabricaron gran cantidad de escuelas la verdad es que se construyeron más "escuelas tipo" por medios no industrializados. En estos años empezó también la industrialización de aularios temporales comúnmente llamados barracones que siguen vigentes hoy día. Parte de esa imagen despectiva que se tiene de la idea del prefabricado es por este tipo de construcciones temporales. Al final se asocia lo prefabricado a construcción temporal y no debemos caer en este error.

Para la prefabricación de centros escolares durante estos años, se utilizaron principalmente 6 sistemas distintos según nos cuenta *Oriol Pons (2010)*.

#### Sistema de estructura metálica modulada y cerramientos de paneles de hormigón y fibras (Fig.70).

Esta estructura estaba normalmente porticada y modulada en planta a 1,5m y unas placas de hormigón macizas y con fibras que resolvían tanto los forjados como las fachadas, tabiques y falsos techos.

El sistema consistía en una estructura metálica cuyas uniones eran atornilladas de manera que su ejecución era rápida, sencilla y reversible.

El forjado, por otro lado, era más costoso porque había que hormigonar los espacios entre las placas además de una capa superior.

Esta tecnología fue propia de "Durisol" una empresa que se ubica cerca de Barcelona. El sistema de estructura metálica modulada y cerramientos de paneles de hormigón y fibras se utilizó en las escuelas del Campo de Gibraltar por primera vez.

Como ya hemos dicho, durante estos años se fabricaron muchas escuelas. Por ejemplo, el Ministerio de Educación y Ciencia, solamente con el concurso derivado de "Pactos de la Moncloa", construyó aularios por Alicante, Valencia, Málaga y Jaén suponiendo un total de 18.000 m<sup>2</sup>.



### Sistema de estructura metálica modulada y cerramientos por componentes

Existía en Inglaterra un sistema llamado “CLASP”. Carlo Testa, arquitecto, fue el encargado de conseguir adaptar este sistema inglés a la situación económica en la que se encontraba España en los años 1970. La empresa encargada de este sistema es una empresa barcelonesa que se llama “Modulteu” (Fig.71).

El sistema consistía en una estructura porticada isostática de acero modulada a 0,30m tanto en planta como en altura. Tras esta se apoyaban unas placas de hormigón ligero como forjado y unos paneles de hormigón armado que contaban en su interior con aislamiento en la fachada.

Casi todas las uniones eran atornilladas o encajadas y sólo las placas del forjado se realizaban mediante el vertido de hormigón en obra. La construcción se realizaba aproximadamente en unos 3 meses por medio de unos montadores especializados.

### Sistema de muros portantes tricapa, pórticos y placas de forjado de hormigón prefabricado (Fig.72)

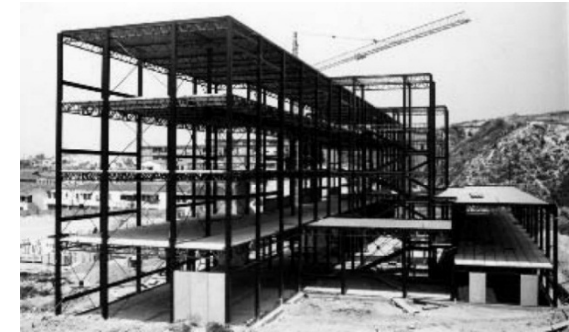
Este sistema comenzó gracias a la empresa “Cindesa” en 1971. Prefabricaban edificios en sus plantas. Donde más tuvo cabida fue en Cataluña, Valencia, Alicante,...

Esta manera de hacer estaba compuesta por una estructura prefabricada de muros portantes de hormigón y losas alveolares. Las uniones se hormigonaban en obra. La fachada se resolvía con esos mismos muros que tenían tres capas: la capa interior portante de hormigón armado de espesor 12 cm, la capa de en medio de Poliestireno Expandido, y la capa exterior de 5 cm de hormigón armado con nervios.

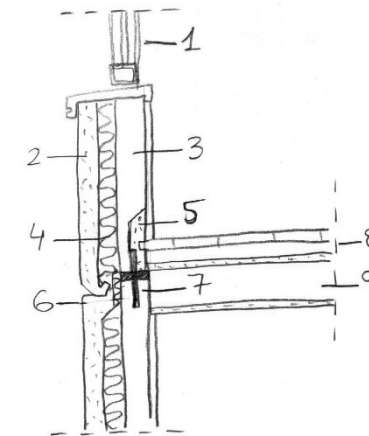
Podía terminarse el montaje tan solo en dos meses.

### Sistema de muros portantes tricapa y placas de forjado de hormigón prefabricado

Este sistema viene derivado de un sistema danés “Jespersen” que la empresa “Modulbeton” versionó (Fig.73). Se produjeron más de un centenar de edificios en las fábricas de Madrid y Barcelona y estos fueron destinados a centros docentes de Madrid, Barcelona, Huesca, Murcia,...



**FIG. 71 - ESCUELA PREFABRICADA MODULTEU -  
ARTÍCULO ORIOL PONS. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN**



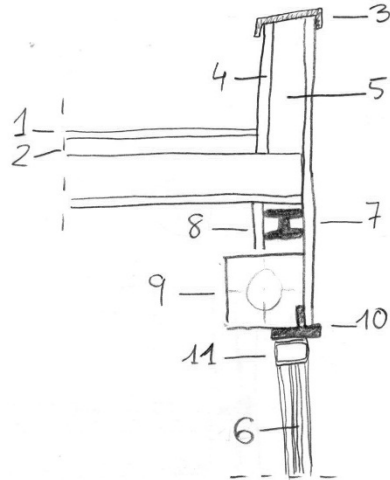
**FIG. 72 - DETALLE 2**

- 1-Carpintería de aluminio de vidrio de una hoja
- 2-Hoja de acabado del panel prefabricado de hormigón
- 3-Hoja portante del panel prefabricado
- 4-Aislamiento continuo
- 5-Hormigón vertido in situ
- 6-Machiembrado para junta horizontal fachada
- 7-Conector entre paneles
- 8-Capa nivelación y pavimento
- 9-Forjado de placas alveolares prefabricadas





**FIG. 73 - SISTEMA MODULBETON - ARTÍCULO ORIOL  
PONS. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN**



**FIG. 74 - DETALLE 3**

- 1-Rastreles cubierta con perfiles metálicos
- 2- Forjado placas alveolares prefabricadas
- 3-Coronación con plancha de acero lacada blanca
- 4-Panel sándwich 3cm de espesor
- 5-Estructura de coronación perfiles metálicos
- 6- Carpintería de aluminio con vidrio de una hoja
- 7-Viga
- 8-Trasdoso placas de yeso laminado de 4cm
- 9-Persiana de plástico
- 10-Subestructura de fachada de perfiles metálicos
- 11-Jambas de plancha metálica lacada blanca

Consistía en muros portantes, pórticos y forjados de losa alveolar. Las construcciones tenían que tener un módulo de 90 cm en planta. Las uniones se realizaban vertiendo hormigón in situ. Los muros portantes actuaban también de cerramiento de fachada como en el caso anterior. Las capas que tenían eran: una interior de 10-15 cm portante de hormigón armado, una en medio de Poliestireno Expandido y una exterior también de hormigón armado de 8 cm.

La empresa resolvía estas construcciones en 3 meses.

#### Sistema de estructura metálica modulada y cerramientos de paneles sándwich (Fig.74)

La empresa "Sanqui" de Madrid construyó todo tipo de edificios para África, Asia, España y Sudamérica.

Este sistema propio consiste en una estructura de pórticos metálica con forjados de losa alveolar. El cerramiento consistía en paneles sándwich de acero con aislamiento interior que se colocaban en vertical y con sus medidas de 90cm ayudaba en la modulación en planta del edificio.

El montaje se hacía de una manera muy sencilla y en 2 ó 3 meses.

La empresa "Dragados" también realizó escuelas prefabricadas mediante este sistema aunque su actividad principal estaba enfocada a aularios de carácter temporal.

#### Sistema de pórticos, placas de forjado y paneles de fachada de hormigón prefabricado

Aunque en Europa ya existía con anterioridad, fue en esta época cuando se introdujo en España. Con este sistema fueron construidos muchos centros escolares. Podemos nombrar empresas como "Balsa", "Conspania", "Nadeco", "Obrascón", "Span-Deck",...

El sistema consistía en una fachada y estructura de pilares, vigas y forjados prefabricados de hormigón. Las uniones entre paneles de fachada eran atornilladas o soldadas junto con un sellado con masillas y sistemas de drenaje pero las estructurales se hacían mediante el vertido de hormigón in situ.

El montaje de una escuela bien podía reducirse a 2 meses.

Hubo muchas variantes de esta manera de hacer. Podemos nombrar empresas como “Cutillas” o “Grau Salas” que aunque la estructura era prefabricada de hormigón, las fachadas estaban compuestas por bloques de hormigón y paneles tipo sándwich.

### 5.3 Los años 1980 y 1990

En este período disminuyó la construcción de colegios prefabricados. Las causas fueron que con la crisis de finales de 1970 casi la totalidad de las fábricas donde se realizaban habían cerrado. Además las competencias en materia de educación pasó a ser de las Comunidades Autónomas y no del Estado por lo que se abandonaron las ideas de “escuelas tipo”.

Tanto en la década de 1980 como en la de 1990 se construyeron menos colegios. Para los colegios que tenían un carácter temporal siguieron utilizándose los “barracones” mientras que en las escuelas de carácter permanente se utilizaron las técnicas constructivas de toda la vida. Pocas escuelas fueron construidas con sistemas industrializados. Un ejemplo puede ser el colegio “Riumar en Deltebre”, Cataluña que construyó la industria “Prefabricados Pujol” de mano de los arquitectos M. Ruisánchez y X. Vendrell.

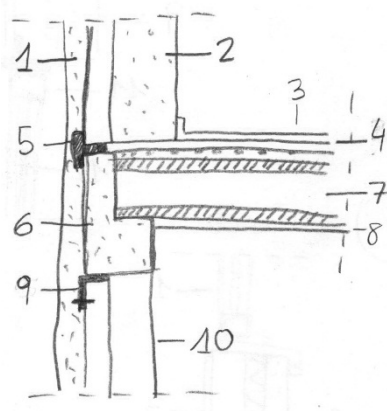
### 5.4 Actualidad

En la actualidad se han vuelto a construir gran cantidad de escuelas mediante los sistemas de prefabricados. Al principio fue la inmigración que recibió nuestro país que se tradujo en mano de obra barata junto con que muchas familias prosperaron y se fueron a vivir de los pueblos a las ciudades lo que produjo un crecimiento en el número de plazas escolares en lugares donde hasta ahora había suficientes. Algunas comunidades autónomas realizaron estos centros por medio de sistemas constructivos prefabricados. En Cataluña fue todo un éxito y más de 200 centros escolares han sido industrializados. La diferencia con los proyectos de prefabricados que surgieron en la década de 1970 es que estos se han definido mediante proyectos arquitectónicos exclusivos para cada escuela.

Podemos distinguir 6 tipos de sistemas de prefabricados según nos describe *Oriol Pons (2010)*:



**FIG. 75 - RIUMAR EN DELTEBRE -**  
[HTTP://EULALIAARAN.WORDPRESS.COM](http://eulaliaaran.wordpress.com)



**FIG. 76 - DETALLE 4**

- 1-Panel prefabricado de hormigón de 10 cm
- 2-Polar prefabricado de hormigón
- 3-Capa superior de hormigón in situ 5cm
- 4-Pavimento sobre nivelación
- 5-Anclaje metálico portante del panel
- 6-Viga con parte prefabricada y parte en obra con descuelgue
- 7-Placa alveolar pretensada
- 8-Falso techo de placas de fibras
- 9-Anclaje metálico de retención del panel
- 10-Trasdoso de perfiles metálicos y placas de yeso



**FIG. 77 - CA N'ALZAMORA – ARTÍCULO ORIOL PONS.  
INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN**

### Sistema de pórticos, placas de forjado y paneles de fachada de hormigón prefabricado (Fig.76).

Esta tecnología, vigente, es la evolución de uno de los sistemas de 1970. Hoy en día podemos encontrar muchas empresas que realizan edificios escolares con prefabricados con este sistema; entre ellas podemos encontrar: “Hormipresa”, “Planas”, “Mdm”, “Pujol”,...

La estructura está compuesta por pilares, vigas y losas alveolares mientras que los cerramientos de la fachada son paneles autoportantes. Las uniones entre elementos estructurales se resuelven en obra mediante el vertido del hormigón aunque actualmente han aumentado las uniones atornilladas por los elementos de acero como pueden ser las placas de reparto. Las uniones entre elementos no estructurales se resuelven con silicona entre paneles, con fijaciones atornilladas entre los paneles y forjados,...

El proceso de fabricación de un centro escolar mediante este sistema dura aproximadamente entre 20 y 25 días hábiles. El montaje de la estructura y cerramiento de la fachada dura más o menos 20 días hábiles. La secuencia para conformar la obra sería la siguiente: primero los elementos llegan a obra mediante camiones, más tarde se empotran los pilares al terreno, se montan los forjados después apoyando las placas alveolares en las vigas, luego se fijan los paneles que conforman la fachada a la estructura y se tratan las juntas y ya por último se terminan las instalaciones, interiores,...

Un ejemplo del uso de este sistema es el centro escolar “” de Rubí, Barcelona (Fig.77).

### Sistema de estructura de módulos metálicos de medidas abiertas y componentes

Este sistema sigue vigente en la actualidad. La empresa que definió este sistema se llama “Modultec”. Este sistema se basa en una estructura de módulos de metal con forjados de hormigón y fachada variable. Los módulos son pilares tubulares de acero, vigas con perfiles laminados y forjado mixto. Las uniones se realizan mediante tornillos o soldaduras.

El conjunto del edificio puede venir terminado desde fábrica. Por lo tanto este sistema destaca porque las operaciones a realizar en obra son mínimas. Lo malo es que la producción es artesanal y podría avanzarse mucho si tuviera una mayor automatización.

El CEIP Garigot de Castelldefels, Barcelona, es un ejemplo de centro escolar realizado con este sistema.

La Universidad Politécnica de Cataluña convocó, en octubre del año 2001, un concurso para la ampliación de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Una de las propuestas se basaba en un edificio con la capacidad de crecer o decrecer según las necesidades de los ciclos académicos. Las cimentaciones eran superficiales y removibles. Se basa en unos módulos ligeros de acero que pretendían resolver la ampliación del edificio original sin aumentar el impacto ambiental; para esto se alquilaban en ciclos de 5 años los sistemas modulares existentes en el mercado que irían incorporando mejoras ambientales.

En cuanto a la valoración ambiental podemos decir que es deconstruible con cimentaciones también recuperables. Utiliza materiales de bajo impacto, tiene un fácil transporte y un ahorro energético en el uso.

Otro ejemplo de Modultec es este sistema de prefabricación de manera a través del cual los edificios llegan semiacabados a obra. Las cimentaciones, gracias al bajo peso del sistema, suelen ser superficiales. El edificio parte de unas medidas base, como en el caso del Centro de educación preescolar Les Borges Blanques (Fig.78), de 3x 3x 18 metros ya que es el volumen máximo que se puede transportar en un camión sin equipos especiales. Los materiales utilizados para fachadas, revestimientos, pavimentos, etc., pueden variar aunque siempre deben ser ligeros y estar preparados para los movimientos a los que se verán sometidos en su transporte.

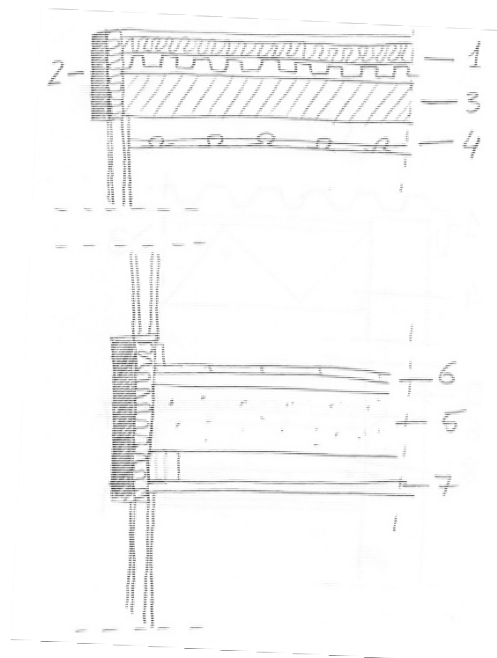
El rápido crecimiento urbano de la periferia de ciudades en Cataluña hace que se necesiten equipamientos de rápida como construcción. Tal es el caso del Centro de Educación Infantil Primario Can Roca, en Sabadell. Con el proyecto listo en enero del año 2005, las obras se terminaron en agosto del mismo año con el sistema modular de la empresa DRACE que se basa en una estructura de perfiles IPN o tubulares de acero extruidos y cerramientos de distintos aplacados. La escuela se encontraba sobre una riera antigua y por esto se utilizó una pequeña pantalla de hormigón que en otro tipo de construcciones no sería necesaria. Los módulos que conforman dos plantas tienen unas dimensiones de 2,70 m de ancho por 2,88m de alto y con largos entre 5,40 y 10,80m. Cuando eran necesarios espacios abiertos se utilizaban pilares y vigas Vierendel o pórticos con perfiles de acero sobre los que descansan la plana superior de módulos. Para no doblar la estructura, los módulos se apoyan en ménsulas simétricas y dobles de un mismo pilar. Este novedoso sistema en las escuelas de Cataluña se aplica en otros centros como los y Can Roca 2.



FIG. 78 - BORGES BLANQUES - [WWW.MODULTEC.ES](http://WWW.MODULTEC.ES)



FIG. 79 - CEIP L'OLIVERA - [HTTP://BLOCS.XTEC.CAT](http://BLOCS.XTEC.CAT)

**FIG. 80 - DETALLE 5**

- 1-Cubierta definitiva encima de la provisional
- 2-Panel de GRC con bastidor metálico y aislamiento posterior
- 3-Vigas en celosía de cordones tubulares
- 4-Falso techo con perfilera de omegas galvanizadas
- 5-Forjado de losa de hormigón armado
- 6-Pavimento
- 7-Vigas y correas de cubierta de planta baja

**FIG. 81 - CAN ROCA - WWW.COAC.NET**

### Sistema de estructura de módulos metálicos de medidas prefijadas y componentes

Este sistema se ha redefinido a partir de una versión de barracones de la empresa "Dragados". A diferencia de las versiones anteriores los diseños ahora estaban dirigidos a edificios permanentes.

La estructura del sistema consistía en la combinación de pórticos y módulos tridimensionales de perfiles de acero con losas de hormigón armado haciendo de forjado. Los cerramientos eran de paneles de GRC de 12mm de espesor (Fig.80). Las juntas entre estos se sellaban con silicona y tenían mecanismos para expulsar el agua. El montaje podía durar 6 meses.

Un ejemplo de colegio construido con este sistema es el CEIP "Can Roca" en Terrasa, Barcelona (Fig.81)

### Sistema de estructura de módulos metálicos plegables de medidas prefijadas y componentes.

Este sistema empezó a usarse por la empresa "Algeco" para la construcción de centros escolares. Se caracteriza por el uso de módulos llamados "Plibat" que son plegables metálicos. Aunque en otros países ya se habían utilizado, en España es el primer sistema que reúne estas características. Empezó a usarse en construcciones pequeñas como guarderías hasta que se completaron centros escolares completos. La estructura estaba formada por cuatro pilares junto con una cubierta de chapa. Tanto los pilares como las vigas y correas eran de chapa galvanizada. Las fachadas se realizaban con paneles sándwich prefabricados que incorporaban ya la carpintería y se revestían en obra. El montaje de la estructura era muy rápido ya que solamente consistía en desplegar los módulos.

Un ejemplo del uso de este sistema es "Vora el Mar" (Fig.82) de Cubelles, Barcelona que en 2004 utilizó este sistema. En 8 meses estaba terminada esta escuela de 3.311 m<sup>2</sup>.

El estudio Bauart Architekten, inspirados en el sistema Modular-T que utilizaron para diversos proyectos, desarrollaron un nuevo sistema para responder a un encargo de las autoridades de Zurich que consistía en un prototipo de escuela que se montara rápido, que pudiera ser desmontado, trasladado y reconstruido en otro lugar. Las células tridimensionales se resuelven mediante estructura y cerramientos de madera con aislamiento térmico, igual que el sistema Modular-T. Las dimensiones varían aunque las principales son las correspondientes a aulas, despachos, etc. El ancho del módulo es, aproximadamente, de 3m por las exigencias del transporte. Para mayores dimensiones se



combinan módulos. A diferencia del sistema Modular-T y para responder mejor a la condición de fácil construcción en la configuración final del edificio es mucho más evidente la modulación y también las cimentaciones se realizan sobre pies metálicos y dados de hormigón que hacen que el edificio esté separado del suelo.

Sistema de módulos portantes, placas de forjado y paneles de fachada de hormigón prefabricado.

Este sistema fue utilizado por primera vez por el estudio de arquitectura Pich-Aguilera y la empresa “Pujol” para unas viviendas unifamiliares. Aunque en Estados Unidos en 1970 ya se había utilizado un sistema similar, en España era una experiencia innovadora. Se construyeron cinco grandes escuelas en Cataluña.

Es cierto que hoy en día no se utiliza demasiado por su elevado coste. Los módulos de la estructura tenían una sección en “U” que soportaban el resto de elementos de forjado y vigas. Las uniones se hormigonaban in situ. Las fachadas se realizaban con paneles prefabricados de hormigón aligerados en su interior por EPS.

Un ejemplo de escuela que utiliza este sistema es “Àngels Alemany” (Fig.83) en Lloret del Mar, Girona, que se construyó en siete meses.

Sistema de muros portantes macizos y placas de forjado de hormigón prefabricado (Fig.84).

Este sistema es muy similar al “Sistema de muros portantes tricapa, pórticos y placas de forjado de hormigón prefabricado” pero con sus muros portantes formados tan solo por una capa de hormigón y además se puede obtener más flexibilidad en cuanto a forma y tipo de forjados. La empresa que lo definió fue “Indagsa” que se encargó de prefabricar una gran cantidad de viviendas. Ha sido anecdótico el uso de esta manera de hacer en centros escolares.

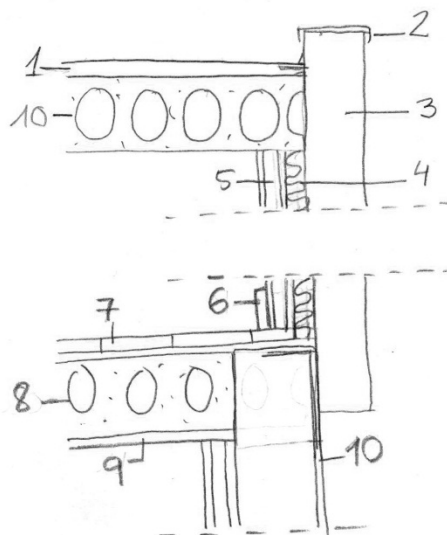
El sistema consiste en muros macizos estructurales y forjados más o menos prefabricados de placas alveolares, pre-losas, viguetas,...



FIG. 82 - VORA EL MAR - WWW.BERICARQUITECTURA.CAT



FIG. 83 - ÀNGELS ALEMANY - WWW.PICHARCHITECTS.COM



**FIG. 84 - DETALLE 6**

- 1-Cubierta plana transitable
- 2-Chapa de aluminio de remate superior
- 3-Panel prefabricado de hormigón aligerado con EPS
- 4-Aislamiento de lana de roca
- 5-Trasdosado yeso laminado
- 6-Zócalo de aluminio
- 7- Pavimento de PVC
- 8-Placa alveolar
- 9-Falso techo de panel acústico de fibras
- 10-Viga pretensada



**FIG. 85 - VINYA DEL SASTRET -**

[HTTP://BLOCS.XTEC.CAT](http://bloqs.xtec.cat)

Las uniones entre paneles están resueltas mediante la soldadura de unas pletinas y más tarde rellenando la junta con hormigón.

Un ejemplo de escuela construida con este sistema es “Vinya del Sastret” (Fig.85) en Barcelona. Se realizó en siete meses esta escuela de 3.100 m<sup>2</sup>.

Con este sistema lo que es prefabricado en taller y más tarde montado en obra es tan sólo el cerramiento de fachada y la propia estructura. El resto se construye in situ.

### 5.5 El futuro de las construcciones modulares industrializadas y su interés ambiental

Según el recorrido de los centros escolares realizados mediante la construcción industrializada en nuestro país en el pasado y en el presente podemos obtener una serie de conclusiones sobre la evolución de estas técnicas siempre aplicadas a la arquitectura de escuelas.

Por un lado, las tecnologías actuales, si las comparamos con los sistemas que existían anteriormente a los años 1970, nos sorprenden por el hecho de que han adquirido flexibilidad de manera que pueden resolver problemas que antes eran irresolubles. Los proyectos de arquitectura respetarán tanto el solar como las directrices de la ciudad, la cultura, el entorno paisajístico,... Los espacios tanto interiores como exteriores se pueden adaptar a las singularidades que tenga cada programa de cada escuela. También puede realizarse con prefabricados o la totalidad del edificio o parte ya que este sistema es compatible con otras tecnologías aunque bien es verdad que las juntas y uniones entre los sistemas son puntos que aún hoy siguen desarrollándose. Esta manera de hacer que es capaz de adaptarse a cada usuario con sus propios requerimientos será la manera de construcción industrializada que primará en el futuro.

Aun así hay que continuar avanzando buscando siempre una construcción industrializada que sea flexible y que se adapte al proyecto, disminuir los trabajos en obra y automatizar los procesos, agilizar la actualización de cualquier sistema para poder incorporar cambios y novedades y elaborar un escrito de buenas soluciones basado en el estudio de cada tecnología y en el análisis del ciclo de vida de los edificios teniendo en cuenta la construcción, el uso, mantenimiento, desmontaje, reutilización,...



Además de la rapidez constructiva y la flexibilidad, para obtener unas construcciones que puedan aceptarse ambientalmente hablando, hay que tener siempre presente los recursos físicos de los que disponemos y no sólo ellos sino la trayectoria a lo largo de su vida útil y que al final puedan reducirse la generación de residuos gracias al reciclaje de los elementos. Para que esto sea más sencillo conviene trabajar en fábrica con pocos materiales para que puedan de esta manera optimizarse y así controlar y reducir los residuos generados e incluso poder recuperarlos cuando termine su vida útil.



## 6. NORMATIVA RELACIONADA CON CENTROS ESCOLARES EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Para poder realizar un prototipo estandarizado de centro escolar construido mediante cualquiera de los sistemas modulares industrializados es necesario saber la normativa específica de este tipo de construcciones y ver si es compatible con el sistema constructivo.

Una página muy interesante donde podemos encontrar información sobre los colegios realizados en la comunidad valenciana es la de CIEGSA (*Valenciana, s.f.*). Además de construir nuevos centros educativos, se dedicaban a adecuar, mejorar y ampliar los ya existentes dentro del territorio. En la bibliografía se encuentran dos archivos relacionados con esta empresa de gran utilidad.

Expondremos aquí, de las diferentes normativas estatales y autonómicas, únicamente los aspectos que influyan en la técnica constructiva o forma del edificio que es la información básica necesaria para este caso y además con las dimensiones y aspectos más restrictivos. El resto de la normativa lo encontraremos en los anejos.

### 6.1. DB-SUA (Documento Básico Seguridad de utilización y accesibilidad)

#### SUA 1 – Seguridad frente al riesgo de caídas

Los suelos de los edificios o zonas de uso Residencial Público, Sanitario, Docente, Comercial, Administrativo y Pública Concurrencia tendrán que tener una resistencia adecuada para evitar el resbalamiento. Además hay que atender a las juntas y desniveles para evitar el tropiezo.

Se dispondrá de protección con altura mínimo 0,90 m en los desniveles superiores a 55 cm y la diferenciación. En zonas de uso público, comenzará a 25 cm del borde como mínimo.

En escuelas infantiles como en otros usos, las barreras de protección estarán diseñadas de manera que no puedan ser escaladas por los niños. Para ello entre 30 y 50 cm de altura sobre el suelo no existirán puntos de apoyo ni salientes con más de 5 cm y entre la altura de 50 y 80 cm sobre el suelo no existirán salientes con una superficie horizontal con más de 15 cm de fondo. Además las aberturas tienen que ser menores de 10 cm para que no puedan atravesarlas excepto las aberturas triangulares

que se forman entre la huella y contrahuella siempre que la distancia entre este límite y la línea de inclinación de la escalera no exceda 5 cm.

Las escaleras de uso general en tramos rectos, obligatorio en escuelas infantiles y centros de enseñanza primaria o secundaria, la huella medirá 28 cm como mínimo y en tramos rectos o curvos la contrahuella medirá entre 13 y 17,5 cm como máximo en zonas de uso público. La altura máxima que puede salvar un tramo es de 2,25 m. La anchura útil según el número de personas previstas y con uso escolar es de 0,80 m para menor o igual que 25 personas, 0,90 m para menos o igual que 50 personas, 1,00 m para menos o igual que 100 personas y 1,10 m para mayor que 100 personas. Los dos primeros casos cambian a 1,00 m cuando la escalera comunique con una zona accesible.

#### SUA 2 – Seguridad frente al riesgo de impacto o de atrapamiento

La altura libre en las zonas de circulación será, como mínimo, 2,10 m en zonas de uso restringido y 2,20 m en el resto de zonas. Las paredes carecerán de elementos salientes entre 15 cm y 2,20 m.

La distancia de la puerta corredera hasta el elemento fijo más próximo será de mínimo 20 cm para limitar el riesgo de atrapamiento.

#### SUA 9 – Accesibilidad

Si el proyecto tiene varias plantas o cuando en total existan más de 200 m<sup>2</sup> de superficie útil dispondrá de ascensor accesible o rampa accesible que comunique dichas plantas.

Los edificios dispondrán de un itinerario accesible que comunique, en cada planta, el acceso accesible a ella con las zonas de uso público, con todo origen de evacuación de las zonas de uso privado.

Tiene que haber un aseo accesible por cada 10 unidades o fracción de inodoros instalados, pudiendo ser de uso compartido para ambos sexos.

**6.2 Real Decreto 132/2010, de 12 de febrero, por el que se establecen los requisitos mínimos de los centros que impartan las enseñanzas del segundo ciclo de la educación infantil, la educación primaria y la educación secundaria**

### Título 1 – Disposiciones de carácter general

Los centros docentes deberán cumplir, como mínimo, los siguientes requisitos relativos a las instalaciones:

- a) Situar en edificios independientes, destinados exclusivamente a uso escolar, si bien sus instalaciones podrán ser utilizadas fuera del horario escolar para la realización de otras actividades de carácter educativo, cultural o deportivo. En el caso de centros docentes que impartan el segundo ciclo de educación infantil, tendrán, además, acceso independiente del resto de instalaciones.
- b) Reunir las condiciones de seguridad estructural, de seguridad en caso de incendio, de seguridad de utilización, de salubridad, de protección frente al ruido y de ahorro de energía que señala la legislación vigente. Asimismo, deberán cumplir los requisitos de protección laboral establecidos en la legislación vigente.
- c) Tener, en los espacios en los que se desarrolle la práctica docente ventilación e iluminación natural y directa desde el exterior.
- d) Disponer de las condiciones de accesibilidad y supresión de barreras exigidas por la legislación relativa a las condiciones básicas de accesibilidad universal y no discriminación de personas con discapacidad, sin perjuicio de los ajustes razonables que deban adoptarse.
- e) Disponer como mínimo de los siguientes espacios e instalaciones:

Despachos de dirección, de actividades de coordinación y de orientación.

Espacios destinados a la administración.

Sala de profesores adecuada al número de profesores.

Espacios apropiados para las reuniones de las asociaciones de alumnos y de madres y padres de alumnos, en el caso de centros sostenidos con fondos públicos.

Aseos y servicios higiénico-sanitarios adecuados al número de puestos escolares, a las necesidades del alumnado y del personal educativo del centro, así como aseos y servicios higiénico-sanitarios adaptados para personas con discapacidad en el número, proporción y condiciones de uso funcional que la legislación aplicable en materia de accesibilidad establece.

Espacios necesarios para impartir los apoyos al alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo.

3. Los centros docentes que impartan la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y/o el bachillerato deberán contar, además con:

- Un patio de recreo, parcialmente cubierto, susceptible de ser utilizado como pista polideportiva, con una superficie adecuada al número de puestos escolares. En ningún caso será inferior 900 metros cuadrados.
- Biblioteca, con una superficie, como mínimo, de 45 metros cuadrados en los centros que impartan la educación primaria, y 75 metros cuadrados en los centros que impartan la educación secundaria obligatoria o el bachillerato.
- Un gimnasio con una superficie adecuada al número de puestos escolares.
- Todos los espacios en los que se desarrollen acciones docentes, así como la biblioteca, contarán con acceso a las tecnologías de la información y la comunicación en cantidad y calidad adecuadas al número de puestos escolares, garantizando la accesibilidad a los entornos digitales del alumnado con capacidades diferentes.

4. Los requisitos de instalaciones podrán flexibilizarse de acuerdo con lo establecido en el artículo 20 y la disposición adicional tercera de este real decreto.

#### Título 2 – De los centros de educación infantil

Artículo 6. Instalaciones y condiciones materiales de los centros que ofrecen el segundo ciclo de la educación infantil.

1. Los centros que ofrecen el segundo ciclo de la educación infantil deberán contar con un mínimo de tres unidades, sin perjuicio de lo establecido en la disposición adicional tercera del presente real decreto.

2. Estos centros deberán contar, como mínimo, con las siguientes instalaciones y condiciones materiales:

- a) Un aula por cada unidad con una superficie adecuada al número de puestos escolares autorizados y en todo caso, con un mínimo de 2 metros cuadrados por puesto escolar.
- b) Una sala polivalente de 30 metros cuadrados.
- c) Un patio de juegos, de uso exclusivo del centro, con una superficie adecuada al número de

puestos escolares autorizados y nunca inferior a 150 metros cuadrados para cada seis unidades o fracción, con horario de utilización diferenciado en el caso de que se escolaricen alumnos de otras etapas educativas.

Artículo 7. Relación alumnos por unidad.

Los centros docentes que ofrecen el segundo ciclo de la educación infantil tendrán, como máximo, 25 alumnos por unidad escolar.

### Título 3 – De los centros de educación primaria

Artículo 9. Condiciones generales.

Los centros de educación primaria tendrán, como mínimo, una unidad por cada curso, salvo lo establecido en la disposición adicional tercera del presente real decreto.

Artículo 10. Instalaciones y condiciones materiales de los centros.

Los centros de educación primaria deberán contar, como mínimo, con las siguientes instalaciones y condiciones materiales:

- a) Un aula por cada unidad con una superficie adecuada al número de alumnos escolarizados autorizados y en todo caso, con un mínimo de 1,5 metros cuadrados por puesto escolar.
- b) Un espacio por cada seis unidades para desdoblamiento de grupos y otro para actividades de apoyo y refuerzo pedagógico.
- c) Una sala polivalente, con una superficie adecuada al número de puestos escolares autorizados, que podrá compartimentarse con mamparas móviles.

Artículo 11. Relación de alumnos por unidad.

Los centros de educación primaria tendrán, como máximo, 25 alumnos por unidad escolar.

### Título 4 – De los centros de educación secundaria

Artículo 13. Condiciones generales.

1. En los centros de educación secundaria podrá impartirse la educación secundaria obligatoria, el bachillerato y la formación profesional.



2. En los centros de educación secundaria que ofrezcan las enseñanzas de educación secundaria obligatoria se deberán impartir los cuatro cursos de que consta esta etapa educativa con sujeción a la ordenación académica en vigor. Dichos centros deberán tener, como mínimo, una unidad para cada curso y disponer de las instalaciones y condiciones materiales recogidas en el artículo siguiente.

3. Los centros de educación secundaria en los que se imparta el bachillerato ofrecerán, al menos, dos de las modalidades de las previstas en el artículo 34.1 de la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Al respecto, se entenderán que imparten la modalidad de artes cuando oferten al menos una de las vías previstas en el artículo 5.3 del Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas.

4. El requisito anterior no será de aplicación para los centros de educación secundaria en los que se impartan las dos vías de la modalidad de artes.

5. Los centros docentes que imparten títulos de Formación profesional estarán sometidos a los requisitos mínimos que establece este real decreto, así como los establecidos en el Real Decreto 1538/2006, de 15 de diciembre, por el que se establece la ordenación general de la formación profesional del sistema educativo, y la normativa que regule los títulos de técnico y títulos de técnico superior de formación profesional.

Artículo 14. Instalaciones y condiciones materiales de los centros que imparten educación secundaria obligatoria.

Los centros en los que se imparta educación secundaria obligatoria dispondrán, como mínimo, de las siguientes instalaciones:

- a) Un aula por cada unidad con una superficie adecuada al número de alumnos escolarizados autorizados y en todo caso, con un mínimo de 1,5 metros cuadrados por puesto escolar.
- b) Por cada 12 unidades o fracción, un aula taller para tecnologías y dos aulas para las actividades relacionadas con las materias de música y educación plástica y visual respectivamente.
- c) Al menos un laboratorio de Ciencias Experimentales por cada 12 unidades o fracción.
- d) Un espacio por cada ocho unidades para desdoblamiento de grupos y otro para actividades de apoyo y refuerzo pedagógico.

Artículo 15. Instalaciones y condiciones materiales de los centros que imparten bachillerato.

1. Los centros en los que se imparta bachillerato deberán disponer, como mínimo, de un aula por cada unidad con una superficie adecuada al número de alumnos escolarizados y en todo caso, con un mínimo de 1,5 metros cuadrados por puesto escolar.

2. Un espacio por cada cuatro unidades para desdoblamiento de grupos y otro para actividades de apoyo y refuerzo pedagógico.

3. En función de las modalidades del bachillerato impartidas, los centros deberán disponer, asimismo, de las instalaciones siguientes:

a) Para la modalidad de artes:

Dos aulas diferenciadas dotadas de las instalaciones adecuadas para la enseñanza de las materias de modalidad cuando se imparta la vía de artes plásticas, imagen y diseño.

Un aula de música cuando se imparta la vía de artes escénicas, música y danza.

b) Para la modalidad de Ciencias y Tecnología:

Tres laboratorios diferenciados de Física, Química y Ciencias.

Un aula de dibujo.

Un aula de Tecnología.

Artículo 16. Relación de alumnos por unidad.

Los centros de educación secundaria tendrán, como máximo, 30 alumnos por unidad escolar en educación secundaria obligatoria y de 35 en bachillerato.

Artículo 19. Requisitos de centros que ofrecen los Programas de Cualificación Profesional Inicial.

1. La impartición de los módulos específicos a que se refiere el artículo 30.3, letra a) y b), de la Ley Orgánica de Educación, requerirá disponer de los espacios y equipamientos que para cada uno de ellos determine la Administración educativa competente.

2. La impartición de los módulos voluntarios al que se refiere el artículo 30.3 letra c) de la Ley Orgánica de Educación, requerirá disponer, al menos, de los mismos requisitos exigidos para la autorización de centros de formación de adultos que imparten la educación secundaria obligatoria.

Artículo 20. Flexibilización de los requisitos de instalaciones para los centros docentes que impartan distintas enseñanzas en el mismo edificio o recinto escolar.

1. En el caso de centros situados en el mismo edificio o recinto escolar, el patio de recreo y la sala polivalente de los centros de educación primaria cubren las exigencias correspondientes de los centros de educación infantil, siempre que se garantice, para los alumnos de educación infantil el uso de dicha dependencia en horario independiente, salvo que se trate de centros que agrupen alumnos de distintas etapas en las mismas unidades.

Asimismo, el despacho de dirección, los espacios destinados a la administración y la sala de profesores de los centros de educación primaria cubren las exigencias de estas instalaciones en educación infantil.

2. En el caso de centros de educación primaria y de educación secundaria obligatoria situados en el mismo edificio o recinto escolar, se considerarán instalaciones comunes las siguientes:

- a) La biblioteca.
- b) El gimnasio.
- c) El patio de recreo.
- d) Los despachos de dirección, los espacios destinados a la administración y la sala de profesores.
- e) En los centros con hasta doce unidades de educación primaria y hasta ocho unidades de educación secundaria obligatoria, el aula taller para tecnologías y las aulas de música y educación plástica y visual cubren la exigencia de la sala polivalente de educación primaria.

3. En el caso de centros que impartan educación secundaria obligatoria y bachillerato, deberán reunir las condiciones que se especifican en los artículos 14 y 15 de este real decreto, con las siguientes salvedades:

- a) El gimnasio, la biblioteca, el patio de recreo, los espacios destinados a la administración, los despachos y la sala de profesores se considerarán instalaciones comunes.
- b) Una de las aulas diferenciadas a las que hace referencia el artículo 15.2 apartado a) para la enseñanza de las materias de bachillerato de la modalidad de artes, en la vía de artes plásticas, imagen y diseño, cubre la exigencia del aula de dibujo de la modalidad de ciencias y tecnología y viceversa.

Asimismo cubre la exigencia del aula de educación plástica y visual para la educación secundaria obligatoria.

c) El aula de música para el bachillerato de artes en la vía de artes escénicas, música y danza, cubre la exigencia del aula de música para la educación secundaria obligatoria.

d) Los laboratorios para el bachillerato de la modalidad de ciencias y tecnología cubren la exigencia del laboratorio de ciencias experimentales para la educación secundaria obligatoria. Del mismo modo, el aula de tecnología para el bachillerato cubre la exigencia del aula taller de tecnologías para la educación secundaria obligatoria.

4. En los centros docentes que impartan educación secundaria obligatoria o bachillerato y formación profesional podrán disponer de recursos humanos e instalaciones comunes. A estos efectos, se consideran instalaciones comunes aquellas que se destinen a usos similares en función del tiempo de utilización de los espacios respectivos, previstos para cada una de las enseñanzas.

Disposición adicional primera. Centros que ofrecen la educación de personas adultas.

1. Los centros creados o autorizados al amparo de lo dispuesto en este real decreto podrán ser autorizados para impartir las correspondientes enseñanzas a personas adultas, de acuerdo con los programas que al efecto se establezcan, si de ello no resulta menoscabo para las enseñanzas cursadas por los alumnos escolarizados en el centro, especialmente en cuanto a su régimen horario.

2. Los centros específicos de educación de personas adultas que impartan la educación secundaria obligatoria y/o el bachillerato se rigen por lo dispuesto en este real decreto en lo relativo a las instalaciones y la titulación de los docentes. Los requisitos de instalaciones se adecuarán a la organización específica de las enseñanzas de adultos.

Disposición adicional segunda. Centros de educación especial.

Las Administraciones educativas competentes adaptarán lo dispuesto en este real decreto a los centros de educación especial que ofrecen enseñanzas dirigidas a alumnos con necesidades educativas especiales que no puedan ser atendidas en el marco de las medidas de atención a la diversidad en los centros ordinarios.

Disposición adicional tercera. Centros que atiendan a poblaciones de especiales características sociodemográficas.

1. Los centros de educación infantil y de educación primaria que atiendan a poblaciones de especiales características sociodemográficas o escolares quedan exceptuados de los requisitos establecidos en los artículos 6.1 y 9 de del real decreto del que estamos hablando, en cuanto al número de unidades con que deben contar los centros.

2. Para estos centros se entenderá por unidad escolar la agrupación de alumnos atendidos conjunta y simultáneamente por un profesor de manera ordinaria, independientemente del nivel al que pertenezcan.

3. A los efectos previstos en esta disposición, las Administraciones educativas competentes adecuarán los requisitos previstos en los títulos II y III de este real decreto a las especiales características y dimensiones de estos centros.

Disposición adicional cuarta. Centros docentes reconocidos por acuerdos internacionales.

Los requisitos de los centros docentes cuyo carácter específico esté reconocido por acuerdos internacionales de carácter bilateral podrán ser adaptados por el Ministerio de Educación.

Disposición adicional quinta. Centros acogidos al régimen de conciertos.

Lo dispuesto en el presente real decreto sobre número máximo de alumnos por unidad escolar debe entenderse sin perjuicio de la obligación de los centros acogidos al régimen de conciertos educativos de que la unidades concertadas tengan una relación media alumnos/profesor por unidad escolar no inferior a la que determine la Administración educativa, teniendo en cuenta la existente para los centros públicos de la comarca, municipio, o, en su caso, distrito en el que esté situado el centro.

### **6.3 Decreto 39/2004 de 5 de marzo, del Gobierno Valenciano en materia de accesibilidad en la edificación de pública concurrencia**

#### Capítulo 1 – Condiciones de los edificios

Los accesos de uso público tienen que estar adaptados, es decir, si se realizan a través de escaleras, también tendrán que estar provistos de rampas con inclinaciones y anchos especificados.

Las circulaciones horizontales tienen que tener un ancho mínimo de 1,20 m y un espacio en el que se pueda inscribir un círculo de 1,50 al final de cada tramo o en determinadas zonas para poder maniobrar. En espacios adaptados no se podrá estrangular los pasillos mientras que si no lo son podrá hacerse pero cumpliendo unas restricciones.

Entre las circulaciones verticales encontramos rampas, escaleras y ascensores. Las rampas tienen que cumplir una pendiente según la longitud de recorrido. El ancho tanto de las escaleras como de las rampas será mínimo de 1,20 m y los descansillos tendrán una longitud de 1,50 m. El máximo de contrahuellas por tramo será de 12. La distancia mínima desde el final del escalón, rampa o descansillo hasta cualquier puerta será de 0,40 m. Los ascensores serán de 1,40 x 1,10 m y antes de ellos tendrá una zona en la que se pueda inscribir un círculo de 1,50 m.

En la zona de baños y vestidores tendrá que haber un espacio libre donde se pueda inscribir un círculo de 1,50 m.

Las alturas de los mecanismos, interruptores, pulsadores y similares, sobre los paramentos situados en zonas de uso público, se colocarán a una altura de entre 0,70 y 1,00 m.

#### Capítulo 2 – Condiciones de seguridad

Los pavimentos deben ser de resbalamiento reducido y no tener desigualdades que induzcan al tropiezo. Los itinerarios deben ser lo más rectilíneos posible. Deberán disponerse barandillas o protecciones con unas determinadas medidas cuando el desnivel sea superior a 0,45 m.

#### **6.4 Decreto 2/2009, de 9 de enero, del Consell, por el que se establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los centros que impartan el Primer Ciclo de la Educación Infantil en la Comunitat Valenciana**

##### Capítulo 1 - Disposiciones de carácter general

Art. 6. Los centros deben disponer de acceso independiente desde el exterior, uso exclusivo y cumplirán las condiciones higiénicas, acústicas, de habitabilidad seguridad y accesibilidad establecidas en la legislación vigente, además de los requisitos de este decreto.

Tienen que tener ventilación e iluminación natural directa desde el exterior, cumplir la normativa en eliminación de barreras arquitectónicas y accesibilidad en la edificación de pública concurrencia y estar dotados con el mobiliario y equipamiento adecuado.

##### Capítulo 2 – Centros de tres o más unidades

Tienen que tener un acceso independiente desde el exterior y un uso exclusivo. La superficie mínima de aula es de 30 m<sup>2</sup> útiles. Las aulas que tengan a niños de dos a tres años deberán contar con una superficie de 2 metros cuadrados por cada alumno. Cuando sean para niños menores, dispondrán de áreas diferenciadas para el descanso e higiene.

Contará con una sala de usos múltiples con una superficie mínima de 30 m<sup>2</sup> útiles que podrán ser usados como comedor.

Un patio de juegos de uso exclusivo del centro, por cada nueve unidades o fracción, con una superficie mayor a 75 m<sup>2</sup> útiles.

Un aseo por cada unidad que escolarice alumnado de dos a tres años al que se accede desde la misma aula. Un aseo para el personal del centro, separado de las anteriores.

Una sala polivalente, de tamaño adecuado, para usos administrativos, visitas, dirección,...

##### Capítulo 3 – Centros de menos de tres unidades

Tienen que tener un acceso independiente desde el exterior y un uso exclusivo. La superficie mínima de aula es de 30 m<sup>2</sup> útiles. Las aulas que tengan a niños de dos a tres años deberán contar con una



superficie de 2 metros cuadrados por cada alumno. Cuando sean para niños menores, dispondrán de áreas diferenciadas para el descanso e higiene.

Contará con una sala de usos múltiples con una superficie mínima de 30 m<sup>2</sup> útiles que podrán ser usados como comedor.

Un patio de juegos de uso exclusivo del centro con una superficie mayor a 40 m<sup>2</sup> útiles.

Un aseo por cada unidad que escolarice alumnado de dos a tres años al que se accede desde la misma aula. Un aseo para el personal del centro, separado de las anteriores.

Una sala polivalente, de tamaño adecuado, para usos administrativos, visitas, dirección,...

Como vemos, la normativa existente es totalmente adaptable a cualquier sistema de construcción modular industrializada. Simplemente teniendo en cuenta dimensiones podemos obtener un módulo que se repita para ahorrar en fabricación y que además cumpla las medidas para optimizar el transporte.



## 7. COMPARATIVO ENTRE CONSTRUCCIÓN MODULAR Y TRADICIONAL

Abstrayendo, podemos distinguir dos maneras de construir; la construcción tradicional y la construcción modular industrializada. Dentro esta última, según la técnica y los materiales utilizados, además podemos distinguir entre construcción industrializada ligera con materiales como madera, acero, plástico, etc., y construcción industrializada pesada destinada casi exclusivamente al uso del hormigón.

Tanto si es construcción pesada como ligera todo tiene sus ventajas y sus inconvenientes. La construcción mediante sistemas ligeros aporta facilidades en cuanto a la fabricación ya que no necesitan maquinaria muy potente para la realización de los elementos, también facilita su transporte y es evidente la sencillez del montaje. Además cuando acaba la vida útil de la construcción, resultan también fáciles las tareas de desmontaje y demolición pudiendo aprovechar materiales y elementos.

Además del material en sí, las construcciones mediante sistemas modulares ligeras se asemejan más al sector automovilístico en tanto que pueden producirse de manera automática y robotizada. Las construcciones pesadas con hormigón conllevan una mayor mano de obra y un proceso más artesanal. Otra ventaja de las construcciones ligeras sobre las pesadas es que si hay una avería en las instalaciones se puede reparar con más facilidad ya que tienen un acceso inmediato.

También es cierto que aunque el sistema constructivo industrializado pesado sea difícil transportar y manejar, aporta una resistencia, estabilidad e inercia térmica (mayor aislamiento térmico y sobre todo acústico) mucho mayor que en las construcciones modulares ligeras. Este último parámetro es muy importante e interesante en lo relacionado con la eficiencia energética. Las construcciones con hormigón además, gracias a sus características, tienen menos movimientos, vibraciones y deformaciones del conjunto. Todo esto hace que estas construcciones tengan mayor durabilidad y vida útil más prolongada en el tiempo. Todas estas características unidas a la tradición en la manera de construir consiguen que el sistema pesado tenga una mejor acogida comercial que el sistema ligero.

Finalmente decantarse por un sistema u otro consiste en valorar las ventajas e inconvenientes de cada tipo y ver cuál se adecúa más a nuestro proyecto.



FIG. 86 - EDIFICIO VIVIENDAS BANYOLES -  
WWW.COMPACTHABIT.COM

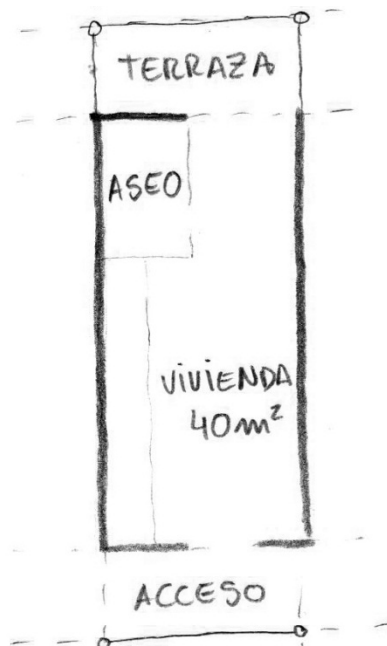


FIG. 87 - PLANTA TIPO BANYOLES -  
ELABORACIÓN PROPIA

Vamos ahora a comparar cuatro maneras de hacer un edificio que corresponden a cuatro sistemas constructivos diferentes: sistema convencional, modular pesado basado en el hormigón, modular ligero basado en la madera y modular ligero basado en el acero. Debido al pensamiento global de los sistemas de construcción industrializada en los que se busca una solución constructiva estándar, se han excluido tanto los plásticos como el aluminio ya que no se encuentran suficientemente extendidos en el mercado mundial.

Partimos de un edificio de alrededor de unos 2000 m<sup>2</sup>. La célula para ensayar estas soluciones es la que se utiliza frecuentemente en vivienda de promoción pública de reducida superficie.

Se trata de una unidad que se destina a grupos de una, dos o tres personas de edades similares, jóvenes, gente mayor, inmigrantes recientes, etc., que se basa en un gran espacio que admite divisiones posteriores. Esta manera de entender el soporte nos recuerda al libro *El Diseño del Soporte* (Habracken, 2000). En este comenta que el mayor error de la arquitectura residencial contemporánea es que está construida para gentes, que nunca podrán tener decisiones fundamentales sobre la vivienda, la cual seguramente utilizarán durante gran parte de su vida. Para Habracken la planta de la vivienda era del ocupante y no del arquitecto. El Sistema de Soportes provee un método para restaurar un orden reconocido y observado en el ambiente cotidiano, en el cual la ciudadanía jugaba un papel protagónico en determinar el carácter de su vivienda.

El edificio escogido para analizarlo desde los distintos sistemas constructivos es un edificio de 30 viviendas en Banyoles, Girona, que fue seleccionado como uno de los proyectos ganadores del Concurso de Innovación Técnica CIT que realiza Incasol (Fig.86). INCASOL es un gran impulsor de la innovación tecnológica para la construcción de viviendas. Tal y como nos cuenta J. Avellaneda (Avellaneda, 2009) este proyecto en concreto es de Xavier Tragant y Miguel Morte. Utilizan el sistema constructivo ya conocido COMPACT HABIT. Se basa en una célula de vivienda tipo de espacio único de aproximadamente 40m<sup>2</sup> con dos fachadas principales libres con pasillos de acceso y balcones abiertos además de soluciones constructivas y acabados con bajo coste (Fig.87).

Además de ser una célula tipo, este proyecto se elige también porque puede ser realizado con cualquiera de los sistemas constructivos (Fig.88) de los que hemos hablado, se adapta a diversas densidades urbanas, tipologías de solar y al no tener aparcamiento, no requiere la construcción bajo rasante con lo que en los sistemas modulares ligeros le permite asentarse sobre una cimentación

superficial. Posee además una altura en la que puede prescindirse de ascensor aunque para la eliminación de barreras arquitectónicas y por la normativa actual, se incluye uno.

Partimos de la base de que las instalaciones son idénticas independientemente del sistema constructivo utilizado.

### 7.1 Sistema constructivo convencional

El sistema convencional se realiza mediante las técnicas más difundidas y prácticamente no incluye ningún elemento prefabricado sino que su proceso consiste en ir añadiendo componentes por medio de un intenso trabajo en obra tanto manual como mecánico.

Las técnicas y los materiales más utilizados con este sistema constructivo son los siguientes:

- Cimentaciones de zapatas y vigas de atado de hormigón armado.
- Estructura basada en pilares, vigas y forjados reticulares de hormigón armado.
- Fachadas de muro de ladrillo perforado con revoco de mortero monocapa, cámara de aire con aislamiento térmico y tabique interior de ladrillos extruidos.
- Aislamiento térmico de poliestireno expandido en plancha.
- Cubierta plana invertida sobre forjado impermeabilizada mediante láminas bituminosas y acabado de grava.
- Carpinterías exteriores de aluminio anodizado con rotura de puente térmico.
- Carpinterías interiores de madera y paneles aglomerados.
- Persianas de aluminio lacado con aislamiento de espuma de poliuretano.
- Vidrios con cámara de 4+4/20/6
- Paredes interiores enyesadas con revestimiento de gres porcelánico en baños y techos de cartón yeso.
- Pintura plástica sobre paramentos interiores tanto verticales como horizontales.
- Pavimento interior de terrazo y exterior de gres extruido esmaltado.
- Barandillas de acero galvanizado y cerramiento de vidrio laminado 5+5.
- Particiones interiores de ladrillo cerámico hueco entre 6 y 7 cm de espesor recubierto con yeso

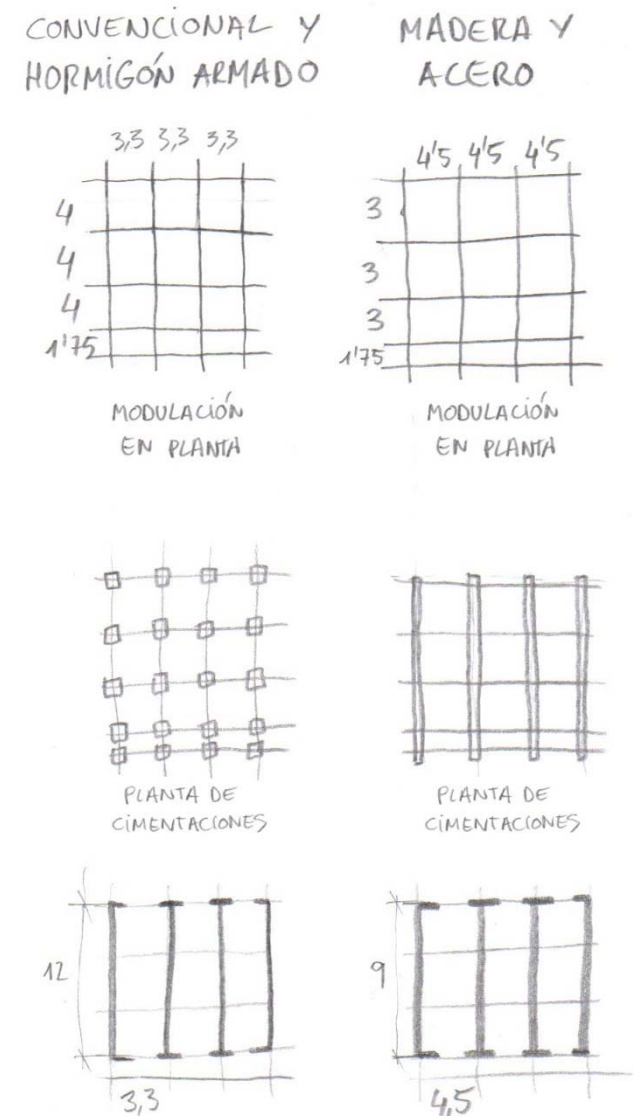


FIG. 88 - ESQUEMAS DE LOS DISTINTOS SISTEMAS – ELABORACIÓN PROPIA

por las dos caras.

- En el espacio de comunicaciones perfiles de acero galvanizado y chapa colaborante.

Durante la fase de extracción y fabricación de los materiales vemos que los indicadores de peso, energía y emisiones son parecidos a otros edificios. En las cimentaciones y estructura donde se usa hormigón armado se concentra el 50% del peso y el 30% de las emisiones. El acero es el material que aquí se usa con mayor impacto ambiental representando un tercio de la energía luego le sigue el aluminio y detrás el cemento. En cuanto al peso primero encontramos al árido con casi el 60% mientras que el cemento un 10% seguido del ladrillo. La cantidad de material reciclado y reciclable es muy baja, apenas representa un 1% respectivamente.

Durante el transporte, los materiales que tienen mayor repercusión son los áridos con el 55%, el cemento 11%, el ladrillo 10% y los casetones 7%. Los materiales provienen de distancias cortas entre 70-100 km. Si los recorridos fueran el doble, el aumento de las emisiones y consumo de energía sería más del 50%.

En las tareas de construcción in situ al ser principalmente manual, no se tiene en cuenta la repercusión de energía y emisiones. El gasto energético de mayor importancia es la grúa que está durante todo el proceso de la construcción, durante la carga y el transporte de residuos y las excavaciones, movimiento de tierras de las cimentaciones y su transporte. Los residuos generados in situ se relacionan con la superficie del edificio con 125 kg/m<sup>2</sup>. Apenas un 8% de los residuos logran reciclarse; el resto está destinado a vertederos controlados.

Durante su uso, en la zona C2 donde se encuentra Banyoles, la calefacción es el uso más significativo en cuanto a emisiones y consumo de energía, seguido del ACS y más tarde de la cocina y electrodomésticos.

En cuanto al mantenimiento, la vida útil del edificio se estima a 50 años y los criterios técnicos de las Fichas Técnicas de Mantenimiento del ITeC. Los acabados superficiales interiores y cerramientos exteriores e interiores practicables son los que concentran el mayor impacto ambiental del mantenimiento debido al repintado periódico, reuniendo casi el 80% de la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>.



En la fase de derribo, la mayoría de residuos van a vertederos controlados, el 95%. A diferencia de la etapa de construcción, el material está compuesto en su mayor parte por pétreos que se reciclan sólo cuando estén libres de otros materiales.

La síntesis del ciclo de vida representa la energía y emisiones de CO<sub>2</sub>. Como en la mayoría de análisis, las etapas de extracción, fabricación de materiales y uso del edificio concentran la mayor parte del impacto.

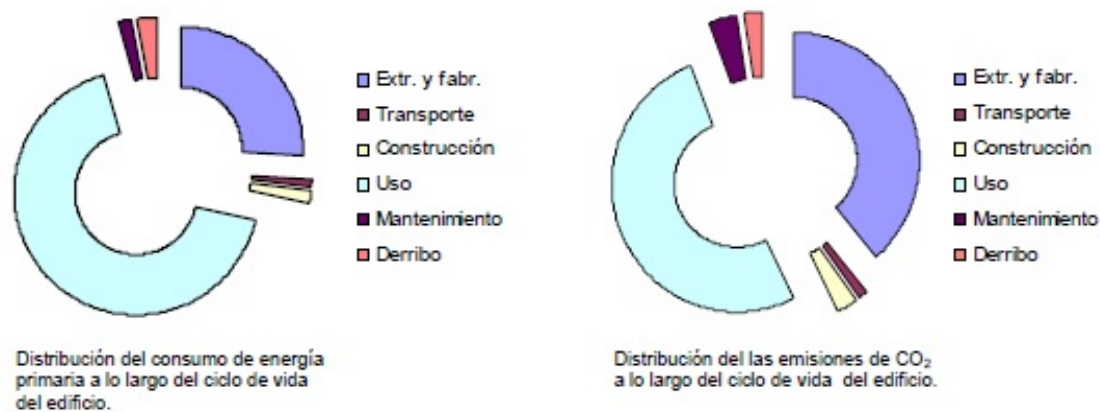


FIG. 89 - ANÁLISIS SISTEMA CONVENCIONAL – TESIS WADEL (2009)

## 7.2 Sistema modular de hormigón (Compact Habit)

Este sistema representa la construcción pesada con prefabricados. Se expondrá el sistema Compact Habit ideado por la Constructora d'Aro, S.A. (*Compact Habit*, 2009) Este sistema recoge la tradición de la prefabricación de elementos tridimensionales de hormigón pero con innovaciones como disminuir la masa del material estructural y así facilitar el transporte y el montaje. El módulo es un prisma que forma una sección tubular con medidas interiores de 4,5m de ancho por 11m de largo y que se utiliza para los laterales y forjados. Los lados menores se cierran con carpinterías de aluminio y forman el acceso y terraza. Se pueden apilar hasta seis plantas de altura.

Las técnicas y materiales empleados son:

- Cimentaciones con zapatas y vigas de hormigón prefabricado.
- Estructura monolítica de forjados y tabiques de hormigón armado prefabricado.
- Fachadas laterales ventiladas de acero y fibrocemento.
- Aislamiento térmico de lana de roca y poliestireno expandido.
- Aislamiento de protección al fuego interior de lana de roca.
- Cubierta tipo sándwich de acero galvanizado y lacado sobre una estructura de acero galvanizado.
- Carpinterías exteriores de aluminio anodizado con rotura de puente térmico.
- Vidrios con cámara de 4+4/20/6.
- Persianas de aluminio lacado con espuma de poliuretano de aislante térmico.
- En las fachadas de los módulos, panel de aluminio anodizado y espuma de poliuretano.
- Revestimientos interiores de cartón yeso sobre perfiles de chapa de acero galvanizado.
- Pavimento interior de parquet flotante de madera y exterior de baldosas cerámicas.
- Barandillas de acero galvanizado con vidrio laminado 5+5.
- En el espacio de comunicaciones perfiles de acero galvanizado y chapa colaborante.

Durante la extracción y fabricación de materiales, los indicadores de energía y emisiones son cercanos a los valores que surgen de edificios convencionales. El peso es significativamente menor. El hormigón prefabricado y las cimentaciones reúnen alrededor del 80% del peso y entre el 35 y 40% de la energía y emisiones. Tras esto se encuentran las fachadas del módulo con aluminio y la cubierta con acero; por último los acabados interiores. La cantidad de material reciclado y reciclable es muy baja, apenas un 2% del total respectivamente.

En el transporte de materiales de obra la mayor repercusión la tienen los módulos con un 51% seguido de los áridos de la obra in situ 18% y el hormigón prefabricado para módulos 17%. La distancia a fábrica es 136 km, si se doblara, se incrementaría la energía total de transporte en un 50%.

Durante la construcción, el gasto energético de mayor importancia es la grúa pesada con un 63% del total, que lleva cada módulo desde los camiones de transporte hasta los que soportan las cimentaciones in situ. Destaca también las excavaciones y movimientos de tierra junto con las cimentaciones con un 33% del total. La construcción de la estructura del ascensor representa un 3%.

Los residuos de construcción in situ y de fabricación de módulos suman una cifra que en comparación con las obras convencionales es muy baja. El porcentaje de reciclado del 27% se explica por la gran presencia de embalajes, sobrantes de acero, y madera que permiten una separación y recolección efectiva. La fabricación de módulos produce escasos residuos con alta reciclabilidad 93% debido a los procesos industriales.

El consumo durante uso del edificio en su mayor parte viene por la calefacción, seguido del ACS. También son importantes la cocina y los electrodomésticos aunque estos están más relacionados con los usuarios que con el edificio.

Los capítulos que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son los revestimientos interiores y mobiliario del módulo debido a las operaciones periódicas de repintado y sustitución de materiales superficiales, reuniendo casi el 80% de la energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

En la fase de derribo, el 75% de los residuos van a vertederos controlados. En su mayor parte son pétreos que se reciclan sólo cuando se encuentran libres de otros materiales.

La síntesis del ciclo de vida nos dice que como sucede con la mayoría, en las etapas de extracción y fabricación de materiales y uso del edificio se concentra la mayor parte del impacto; hasta un 95%. El aumento de la eficiencia energética con respecto al sistema convencional hace que esta fase tenga menos importancia relativa.

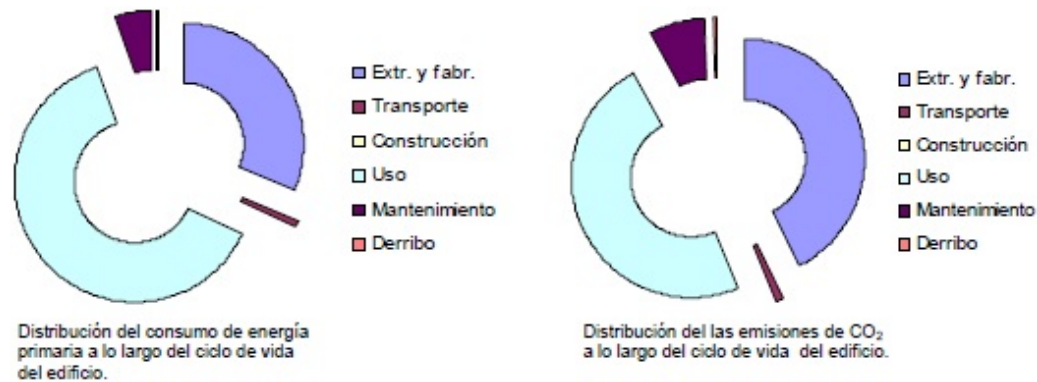


FIG. 90 - ANÁLISIS SISTEMA HORMIGÓN - TESIS WADEL (2009)

### 7.3 Sistema modular de madera (die.modulfabrik KLH)

Este sistema de construcción con madera representa una solución constructiva menos difundida a nivel mundial aunque se presente desde hace décadas en el mercado de Europa central y norte. Existen diversos sistemas basados en módulos de madera basados en la formación de paneles multilaminados, aglomerados de virutas, partículas o fibras y sándwich con núcleo de aislamiento térmico. El módulo del sistema escogido die.modulfabrik está formado por paneles laminados macizos de tres capas de madera conífera de diferentes espesores y resistencias estructurales, que cierran las seis caras del prisma. Posee unos antos de entre 2,42 a 2,95m y largos de 3 a 8 metros. El edificio puede alcanzar planta baja más tres superiores. La protección contra el fuego se logra por el tratamiento ignífugo de la madera y por el aumento de espesor.

Las técnicas y materiales empleados en este sistema son:

- Cimentación prefabricada de hormigón armado
- Estructura vertical de paneles laminados de madera conífera, 94 mm de espesor.
- Forjado inferior y de cubierta de paneles laminados de madera conífera de espesores 102 y 94 mm respectivamente.
- Fachadas de panel laminado e impermeabilizado sobre una subestructura de madera.
- Aislamiento térmico de lana de roca sobre el panel de cerramiento.
- Barrera de vapor de lámina transpirable tipo Tyvek.
- Cubierta de paneles de madera, barrera cortavapor, aislamiento térmico de panel de lana de madera, lámina impermeable de PVC y capa de grava.
- Carpinterías exteriores de perfiles de madera laminada y persianas enrollables de madera.
- Vidrios cámara 4+4/20/6.
- Revestimientos interiores de barniz sintético sobre el panel laminado.
- Pavimento interior de tablero de madera tipo OSB y losetas de PVC en el lavabo.
- Barandillas de madera.

En la fase de extracción y fabricación de materiales tanto los indicadores de peso, energía y emisiones son muy inferiores a los que se realizan con sistemas convencionales debido a la utilización intensiva de la madera. Las cimentaciones de hormigón y la estructura de madera reúne alrededor del 60% del peso pero solo entre el 15-20% de la energía y emisiones. En emisiones

encabeza la lista el caucho sintético que se utiliza como revestimiento del baño con casi un 20% del total de materiales con mayor carga de impacto; le sigue el tablero de madera de mobiliario y luego el polipropileno de las instalaciones. Los reciclados y reciclables se sitúan en el 3% y el 1% debido a las dificultades en el reciclaje de madera y vidrio.

El transporte de materiales a obra alcanza su mayor repercusión en este sistema ya que la madera perteneciente a la fábrica die.Modulfabrik que se utiliza para hacer este comparativo está en Austria. El transporte alcanza el 63%. Si la distancia fuera en lugar de 1700 km 170, la reducción del gasto total sería del 50%.

Durante la construcción, el gasto energético de mayor importancia es la grúa autopropulsada que representa un tercio de la energía y que coge cada módulo de la vivienda desde los camiones y los coloca sobre otros soportado por la estructura de cimentación. El resto de los consumos, como en todos los sistemas, con cerca de otro tercio de la energía total es el movimiento de tierras y las cimentaciones. Los residuos de construcción y fabricación de módulos resulta muy baja con respecto a los sistemas convencionales. El elevado porcentaje de reciclado (77%) se entiende por la importante presencia de embalajes, sobrantes de acero y restos de madera que hacen fácil la separación y recolección. La fabricación de los módulos produce escasos residuos con alta reciclabilidad(93%) gracias al proceso industrializado.

El consumo durante uso del edificio en su mayor parte viene por la calefacción, seguido del ACS. También son importantes la cocina y los electrodomésticos aunque estos están más relacionados con los usuarios que con el edificio.

Los capítulos que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son los espacios comunes con un 20% de la energía y emisiones de CO2 debido a las operaciones periódicas de repintado con barniz y revestimientos interiores, mobiliario y sustitución de materiales superficiales sintéticos, reuniendo casi el 50%.

En la fase de derribo, el 55% de los residuos van a vertederos controlados. En su mayor parte son pétreos que se reciclan sólo cuando se encuentran libres de otros materiales.

La síntesis del ciclo de vida nos dice que como sucede con la mayoría, en las etapas de extracción y fabricación de materiales y uso del edificio se concentra la mayor parte del impacto; hasta un 90%. La proporción entre ellas se sitúa en 4,5 a 1 en la energía y alrededor de 2 a 1 en las emisiones. La fuerte diferencia en el caso de la energía se debe a que la madera es un material natural poco intensivo en procesos industriales. No obstante, la tendencia hacia el aumento de la eficiencia energética con respecto al sistema convencional puede equilibrar un poco más esta relación en el futuro.

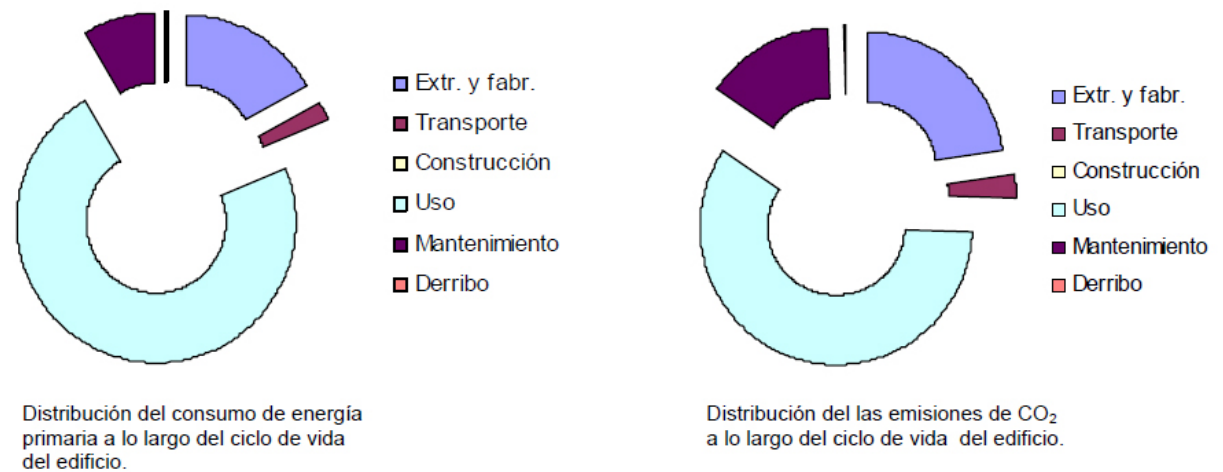


FIG. 91 - ANÁLISIS SISTEMA MADERA - TESIS WADEL (2009)

#### 7.4 Sistema modular de acero (Yorkon)

El sistema de acero es la solución constructiva más extendida en su segmento de mercado. El origen de este sistema viene de la fabricación de los contenedores de transporte y luego la producción de módulos más ligeros. La evolución constructiva en cuanto a la mejora de espacios y mejores prestaciones que respondan a las exigencias de habitabilidad ha dado lugar a sistemas modulares de acero de mayor sofisticación. El escogido para comparar con el resto de sistemas es el de la empresa inglesa Yorkon. El módulo de este sistema se basa en un bastidor tridimensional de acero, formando espacios de 3,3m de ancho y entre 7,5 y 14,24m de largo en el interior. Se prefabrica casi entero en



planta y en obra recibe tratamientos de juntas y acabados superficiales. La estructura incluida en cada módulo puede recibir diferentes carpinterías y cerramientos y estos pueden apilarse hasta seis plantas. Existen también módulos estándar especiales con lados irregulares y otros que incluyen escaleras y vestíbulos.

Las técnicas y materiales empleados en este sistema son:

- Cimentaciones prefabricadas de hormigón armado.
  - Forjado y cubierta de perfiles de chapa plegada de acero galvanizado.
  - Fachada de panel sándwich de acero galvanizado y lacado con un núcleo de aislamiento de espuma sintética aunque bien puede ser otro tipo de aislamiento.
  - Cubierta de panel sándwich nervado de chapa de acero galvanizado plegada con aislamiento térmico de espumas sintéticas en el núcleo.
  - Carpinterías exteriores de acero galvanizado con rotura de puente térmico.
  - Vidrios con cámara de 4+4/20/6.
  - Mecanismos de oscurecimiento y protección solar en base a *screens* de estructura de aluminio, cables de acero inoxidable y cerramientos de tela de PVC y fibra de vidrio.
  - Revestimientos interiores de cartón yeso sobre estructura de perfiles de acero galvanizado.
- Losetas de PVC en el lavabo hasta 2m de altura.
- Pavimento interior de losetas de PVC sobre tablero de madera contrachapada.
  - Barandillas de acero galvanizado con vidrio laminado 5+5.
  - Estructura de acero galvanizado y chapa colaborante en los espacios de comunicación.

En la extracción y fabricación de materiales, aunque este sistema es mucho más ligero que uno convencional, la energía y emisiones resulta claramente superior debido a la utilización de acero y otros materiales cuya fabricación se realiza mediante procesos industriales intensos. La estructura del módulo, acero y espuma de poliuretano reúne el 20% del peso pero el 50% de las emisiones y energía. Las cimentaciones que son un 40% del peso, en energía y emisiones no llegan al 2%. Los materiales con mayor carga de impacto son a la vez los que menos repercusión tienen en peso. En emisiones el acero galvanizado aporta una cuarta parte del total seguido del acero laminado y tras ellos la imprimación antioxidante. Los reciclados y reciclables se sitúan en el 10% que, aunque sigue siendo bajo, es mayor que el habitual gracias a la reciclabilidad del acero.

En el transporte de materiales a obra, los elementos con mayor repercusión son los módulos, con un 60% de la energía total aunque también es importante el hormigón de las cimentaciones con un 23% de energía consumida. La fábrica se encuentra a 136 km. Si la distancia fuera de 1000 km el aumento del consumo de energía sería del 450%. La localización de la fábrica es de gran importancia.

Durante su construcción, el gasto energético de mayor importancia es la grúa autopropulsada que coge cada módulo desde el camión y los sitúa sobre otros que soporta la estructura, supone un tercio de la energía. El resto de consumos, destacan las excavaciones con otro tercio de la energía total, el movimiento de tierras y las cimentaciones y también el camión grúa empleado en el montaje de los módulos de galería. Los residuos durante su construcción in situ son muy bajos en comparación con las obras convencionales. El elevado porcentaje de reciclado (77%) se entiende por la importante presencia de embalajes, sobrantes de acero y restos de madera que hacen fácil la separación y recolección. La fabricación de los módulos produce escasos residuos con alta reciclabilidad(93%) gracias al proceso industrializado.

El consumo durante uso del edificio en su mayor parte viene por la calefacción, seguido del ACS. También son importantes la cocina y los electrodomésticos aunque estos están más relacionados con los usuarios que con el edificio. En climas muy cálidos el sistema constructivo demuestra dificultades para ajustarse al límite de demanda energética fijado por el CTE en cuanto al exceso en refrigeración.

Los capítulos que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son las fachadas con un 25% de la energía y emisiones de CO2 debido a las operaciones periódicas de repintado de acero y revestimientos interiores y sustitución de materiales superficiales sintéticos, reuniendo casi el 50%.

En la fase de derribo, el 67% de los residuos van a vertederos controlados. En su mayor parte son pétreos que se reciclan sólo cuando se encuentran libres de otros materiales.

La síntesis del ciclo de vida nos dice que como sucede con la mayoría, en las etapas de extracción y fabricación de materiales y uso del edificio se concentra la mayor parte del impacto; hasta un 90%. La proporción entre ellas es muy parecida en emisiones generadas pero es 2 a 1 en la energía puesto que en la fase de extracción y fabricación de materiales es especialmente intensiva en procesos industriales consumidores de energía no renovable.



FIG. 92 - ANÁLISIS SISTEMA DE ACERO - TESIS WADEL (2009)

### 7.5 Comparación de los distintos sistemas

En cuanto a la extracción y fabricación de materiales, el sistema convencional es el que mayor peso representa. Si reducimos un tercio nos encontramos con el modular de hormigón y significativamente por debajo los sistemas modulares de madera y acero. Cuando se suma al análisis la consideración de la intensidad material que representa a las materias primas afectadas la situación se matiza; mientras que el sistema convencional y de hormigón se sitúan en valores similares, el acero aumenta una cuarta parte y la madera la dobla. Aun así los sistemas de acero y madera implican una menor cantidad total de materiales. En cuanto a los indicadores de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> el que peor situado está es el acero, seguido del hormigón y el convencional después con un 20% menos. La madera se encuentra en la mitad o por debajo de los otros tres ya que es un material de origen natural cuyo proceso industrial no es muy intenso y que durante su crecimiento absorbe CO<sub>2</sub>. En cuanto a la toxicidad ambiental y humana el mejor parado es la madera; el convencional y de hormigón duplican o triplican la toxicidad de la madera y el acero la aumenta de cuatro a seis veces.

En el transporte de los materiales a obra, el sistema modular de madera viaja cerca de 1600 km según la hipótesis de localización de la fábrica y hace que se dispare el gasto energético; aun así es mejor que el sistema convencional. Si la fábrica de madera tuviera origen local, el gasto energético sería como el del acero que es el más bajo de todos. El sistema convencional supone un 12% más de gasto con respecto al sistema modular de hormigón y un 20% con respecto al de acero. Esto se debe a la cantidad de viajes que tiene que hacer el camión entre el almacén de materiales y la obra. Aunque en este aspecto los sistemas modulares son más eficientes, no lo son tanto en cuanto a que en el transporte incluyen importantes niveles de vacío y no aprovechan a la capacidad total. Si la distancia fuera mayor a la pactada, podría ponerse por delante de los modulares el sistema convencional.

Durante la construcción se ha tenido en cuenta los trabajos in situ y no en la fabricación de los módulos. Aun considerando la energía de las fábricas modulares, en cualquier caso, el sistema convencional consume más energía de fabricación que los modulares. En el caso de los residuos y la reciclabilidad es distinto ya que cubren tanto el trabajo in situ como el de fabricación modular. Con esto, se puede afirmar que el sistema convencional es el que genera muchos más residuos, concretamente cinco veces más con respecto al siguiente que es el modular de hormigón y que comparándolo con los sistemas de madera y acero puede llegar a veinte a uno y más. Todos los sistemas modulares se sitúan por encima del 90% en cuanto a la reciclabilidad.

Mientras el edificio esté en uso, considerando que son 50 años y zona climática C2, y para poder comparar unos sistemas con otros se hacen unos ajustes. El resultado nos dice que no hay grandes diferencias en cuanto al consumo de energía y emisiones asociadas ya que la máxima separación entre los cuatro sistemas no supera el 15%. El convencional es el de mayor gasto y los modulares se sitúan en una franja con una variación menor al 6%. Cuando se han analizado por separado se ha visto que los sistemas ligeros como la madera y el acero tienen problemas por la falta de inercia térmica. El aumento del aislamiento térmico y la protección solar no es suficiente; a veces hay que optar por estudiar la ventilación o incorporar elementos constructivos pesados y que con ello aumente la inercia térmica.

En la etapa de mantenimiento resultan muy importantes dos aspectos: la durabilidad de los materiales más expuestos al desgaste y la repercusión ambiental de los mismos. Aunque el sistema modular de madera es el que menos repercusión ambiental tiene durante su etapa de extracción y fabricación de

materiales, sale perjudicado por la cantidad de repintado con barnices representando hasta tres veces y media al sistema convencional. Los sistemas de acero y hormigón doblan el impacto ambiental del convencional. En cuanto a la reciclabilidad, el acero es el mejor sistema por la facilidad de separar el material y le sigue el de hormigón. Si sumamos las emisiones de CO<sub>2</sub> el sistema de madera es el de mayor impacto, luego encontramos prácticamente igualados el de acero y el convencional y, en este caso, el mejor es el de hormigón.

En la fase de derribo, el sistema convencional es significativamente mayor que los modulares. Esto es porque el primero hay que demolerlo in situ y en su totalidad generando unos residuos de difícil gestión mientras que en los otros la demolición se reduce únicamente a la cimentación mientras que los módulos se pueden transportar, deshacer y gestionar los residuos. La cantidad de energía necesaria y las emisiones generadas en cuanto al transporte es mayor la de las unidades modulares en relación 6 o 7 a 1 con respecto al sistema convencional. Si miramos la generación de residuos, el sistema convencional genera un 40% más que el hormigón, un 65% más que la madera y un 70% más que el acero. Añadimos la dificultad del reciclado del sistema convencional, un 5%, que comparándolo con los sistemas modulares que logran aprovechar entre el 25 y el 50% de los materiales, es muy bajo.

En el estudio total del ciclo de vida el convencional representa la base de otros sistemas y así podemos establecer una comparación (Fig.93). La madera es la que menos impactos globales representa seguida del hormigón y por último el acero. En cuanto al reciclaje casi todos ellos son bajos.

En definitiva, si tomamos como indicador las emisiones de CO<sub>2</sub>, se puede confirmar que existen grandes diferencias en algunas etapas aunque, en el total, los sistemas tienden a igualarse por su diferente capacidad de respuesta a cada fase. La madera aunque tenga muy bajos valores de extracción y fabricación cambia cuando se evalúa el transporte o el uso. El sistema con acero, al tener la dependencia de materiales de industrialización intensiva y la baja inercia térmica, le impiden ofrecer buenos resultados. El hormigón compensa el elevado coste en extracción y fabricación con el buen resultado en climatización por la inercia térmica. El sistema convencional es la opción de mayor impacto global aunque, si la comparamos con la mejor, representa un 20% más de las emisiones en el ciclo de vida que no es una diferencia de gran magnitud y que con ligeros cambios se puede alterar.

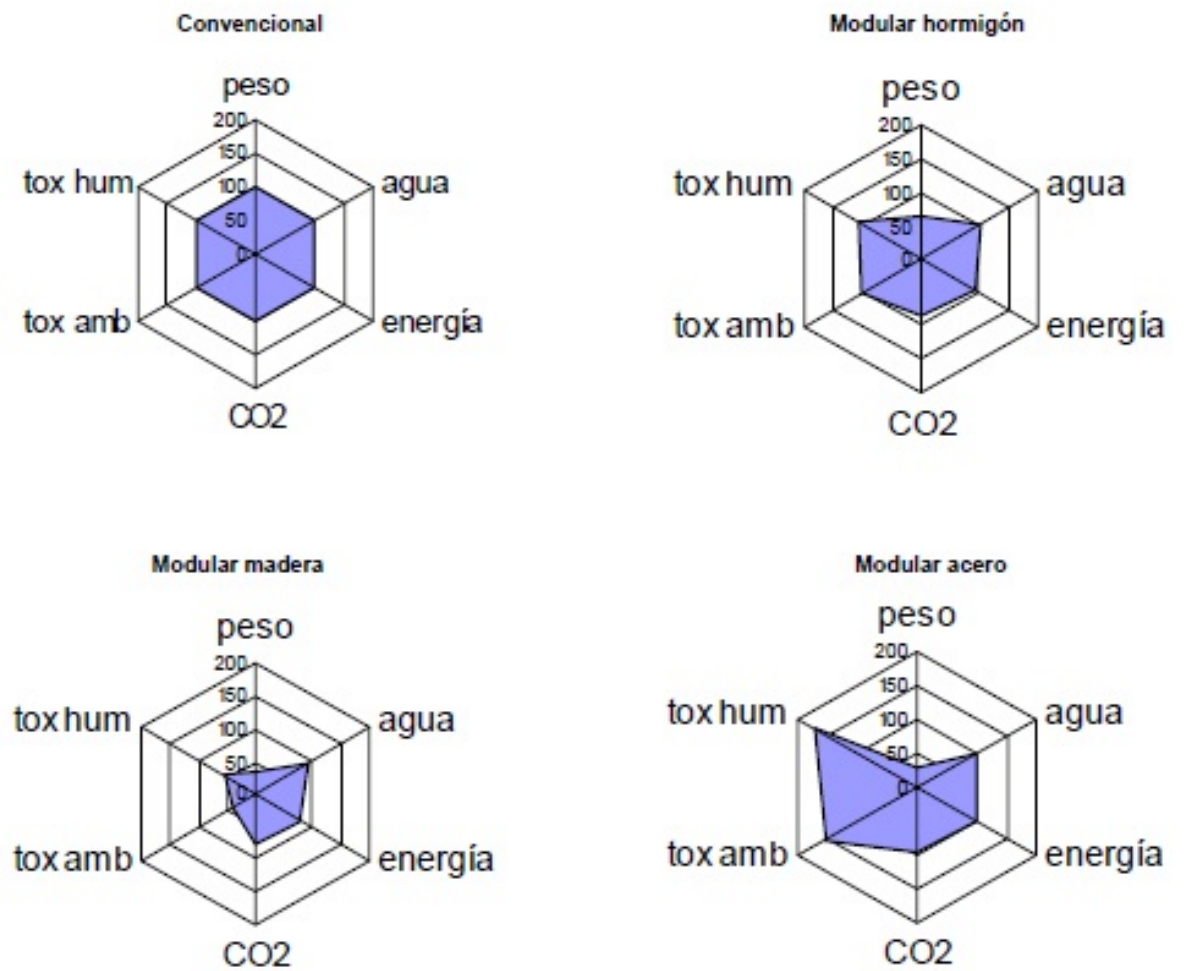


FIG. 93 - ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS - TESIS WADEL (2009)



## 8. EXPERIENCIAS PROPIAS DE VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS UBIKO MEDIANTE EL SISTEMA DE PANELES DE HORMIGÓN

En España la mentalidad acerca de los diversos sistemas no ha evolucionado lo suficiente como para alcanzar el pensamiento del resto de Europa. En general, se teme o no se confía en que una vivienda mediante sistemas de madera o con metal sea tan duradera o eficiente como el sistema convencional o el modular de placas de hormigón armado.

Por esto, entre otras cosas, en nuestro país y en concreto en nuestro estudio, el sistema modular de construcción industrializada es, por excelencia, el de placas de hormigón armado.

Se hablará en este capítulo sobre la empresa que actualmente nos suministra los paneles modulares de hormigón, de la posibilidad que tiene el hormigón de mejorar la calidad ambiental y de los proyectos que estamos realizando con este sistema.

### 8.1 HERMO S.L. Empresa de prefabricados de hormigón

La empresa que nos está ayudando a hacer posible el sistema UBIKO es HERMO S.L. (Fig.94) que se encuentra en Vinarós (Castellón) y que se dedica a la fabricación y almacenaje de elementos prefabricados de hormigón en unas instalaciones de 33.000 m<sup>2</sup>.

El inicio de la fábrica (*HERMO, s.f.*) fue en 1954 fabricando viguetas armadas y terrazos de hormigón evolucionando gracias a la labor de investigación que realizan ellos mismos. Han pasado de las viguetas armadas a realizar una amplia gama de productos como bloques, bovedillas, zunchos, casetones, placas alveolares, prelosas para forjados, losas para cerramientos, etc. Pero no queda aquí sino que están constantemente creciendo entre otras cosas porque los cambios en el mercado son constantes.

Principalmente tienen dos maneras de realizar las construcciones modulares industrializadas. Una es con los paneles de hormigón macizo y la otra mediante un muro doble. En ocasiones cuando el muro es muy pesado de tonelaje se aligera con poliestireno pero sin la finalidad de aislar térmicamente porque hay puntos de contacto entre las dos caras del muro que generan puentes térmicos.



FIG. 94 - HERMO S.L. - [WWW.HERMOSL.NET](http://WWW.HERMOSL.NET)



FIG. 95 – MESAS PLACAS - WWW.HERMOSL.NET



FIG. 96 - PLACAS TERMINADAS - WWW.HERMOSL.NET

Ambos sistemas se realizan en unas mesas en las que se dispone la armadura y se vierte el hormigón (Fig.96).

Es muy importante prever el paso de las instalaciones, tomas, carpinterías, trasdosados y demás puesto que una vez realizados los paneles realizar estas tareas modificando el panel original es mucho más complicado. Requiere de una exactitud proyectual que es mucho mayor que en los sistemas de construcción convencionales.

Las mesas que se tengan, definen el tamaño de las placas y en el caso de la fábrica HERMO, la máxima medida en altura para fabricar piezas longitudinales es de 3,90 aunque puede aumentarse un poco apareciendo de esta manera una junta debido a un añadido que se ha de hacer en la mesa. Realmente no es muy aconsejable hacer aumentos porque dificulta tanto el transporte como la manipulación por el aumento de tonelaje.

Los camiones con los que trabajan son de transporte especial y la máxima carga que puede llevar oscila entre 25.000-32.000 Kg. Los paneles se acopian en palets y se transportan de manera que no sufran ningún deterioro (Fig.95).

Un inconveniente de la construcción con las mesas es que no es posible que el acabado de las dos caras sea el mismo. Mientras que uno queda perfecto por la superficie en la que se vierte, el otro habría que fratasarlo y, aun con esto, no quedaría igual.

Además de la estructura perfectamente plana que ofrece el sistema, se pueden incluir unas planchas de plástico para crear distintas texturas como pueden ser de imitación de madera, pétreos e incluso cañas, falsas juntas, espadas. La empresa que suministra estos materiales es ADITAN (*ADITAN, 2003*) que representa en exclusiva para España y Portugal la prestigiosa empresa alemana RECKLI Chemiewerkstoff GmbH de Herne (*RECKLI, Trompeter*).

El mantenimiento de las placas únicamente se basa en observar si existen fisuras en fachada, puntos críticos donde pueda entrar agua y crearse agentes biológicos que puedan desarrollar alguna lesión.

La generación de residuos está muy controlada puesto que se busca la máxima eficiencia. De esta manera en obra no se generan residuos y en fábrica únicamente excedente de material.

En cuanto a la reciclabilidad, el hormigón se puede convertir en árido machacado para la fabricación de nuevos paneles de cerramiento no estructurales.

La empresa ha apostado durante todos estos años por la calidad y por la adaptación de su producción a las normativas vigentes en el mercado de los prefabricados de hormigón, tales como la ISO 9000:2008, el Sello CIETAN y el Marcado CE.

Un artículo del blog de UBIKO que redacto y que habla sobre este tema: <http://www.ubiko.es/hermo-prefabricados-de-hormigon/>

## 8.2 Proyecto Light2CAT

Un proyecto muy importante en el que además HERMO participa es el proyecto Light2CAT (Fig.97). Es un proyecto que viene de Europa 2020 que consiste en controlar el cambio climático. A pesar de los grandes esfuerzos para reducir los niveles de sustancias peligrosas en el aire, los límites legales establecidos por la Comisión Europea todavía están lejos de alcanzarse, lo que hoy en día supone un desafío pero se sabe que la solución está asociada al desarrollo y al progreso tecnológico.

Después de años de investigación, se ha encontrado una solución efectiva a estos problemas, una solución sostenible de lo más prometedora. Se trata del hormigón fotocatalítico con actividad descontaminante y autolimpiante. Aplicado con el cemento, se vuelve especialmente interesante para el uso de prefabricados y morteros de revestimiento.

Tal y como describen en la página oficial del proyecto, (*Light2CAT, 2014*) muchos de los contaminantes se descomponen con la radiación ultravioleta de la luz del sol pero mediante un proceso muy lento. Con la fotocatalisis podemos acelerar dicho proceso. Este fenómeno se puede comparar con la fotosíntesis en que mediante la acción de la luz se transforman sustancias nocivas para la salud en compuestos totalmente inocuos.

Light2CAT ofrece un producto que consiste en hormigones fotocatalíticos sensibles a la luz visible. Es un proyecto de I+D financiado por el Séptimo Programa Marco de la Unión Europea (FP7). Desarrolla una innovadora tecnología basada en hormigones que contienen partículas de dióxido de titanio que



FIG. 97 - LIGHT2CAT - [WWW.LIGHT2CAT.EU](http://WWW.LIGHT2CAT.EU)

mediante una serie de reacciones reducen los contaminantes atmosféricos además de tener propiedades auto-limpiantes.

Ventajas de este producto:

- Ayuda a limpiar el aire de las ciudades consiguiendo reducir la contaminación y con esto que la atmósfera esté más limpia.
- La contaminación atmosférica se puede reducirse en un 80%.
- Se reduce la dependencia de la luz ultravioleta con respecto a las plantas piloto existentes y con ello disminuye el coste de mantenimiento.

Esto consigue además que el paisaje urbano deje de percibirse como deteriorado, algo que afecta incluso a la salud de las personas.

Hasta la fecha, el uso de materiales fotocatalíticos tratados con dióxido de titanio está limitado a zonas con alta incidencia solar. El objetivo de Light2CAT es el de extender el uso de estos materiales por toda Europa, desarrollando una tecnología que se activa con el espectro de luz visible.

Los resultados obtenidos en el proyecto servirán para establecer nuevas tecnologías de construcción más amigables con el medio ambiente y beneficiosas para la salud humana, dando solución a uno de los problemas de mayor urgencia en la vida cotidiana de las ciudades.

Un artículo del blog de UBIKO que redacto y que habla sobre este tema:

<http://www.ubiko.es/light2cat-hormigones-auto-limpiantes-y-descontaminantes/>

### **8.3 Proyectos UBIKO**

Parece que el sector se está reactivando. Tanto con VIRAJE y sobre todo con UBIKO estamos notando más movimiento e interés por parte de las personas para realizar nuevos proyectos. Actualmente disponemos de cuatro de nuestros modelos construidos o en proceso de ello. Aunque todos parten de la misma base, sufren algunas modificaciones según los clientes que gracias a los sistemas modulares podemos asumir sin problemas.

En los anejos se mostrarán tanto los planos de vivienda como los planos correspondientes al sistema estructural de placas modulares de hormigón armado.

### Modelo MASS

Fácil y cómoda. Estas son las dos palabras con las que definiríamos el modelo MASS. Los espacios de esta vivienda están aprovechados al 100%.

En la planta baja encontramos el estar-comedor, cocina-office, un baño, 3 dormitorios, baño privado, despacho, lavadero y escalera mientras que en la planta superior tenemos una zona multiusos y terrazas. En total se tiene una superficie construida de 165,94 m<sup>2</sup> mientras que de terrazas se tienen 92,24 m<sup>2</sup>.

Tenemos dos ejemplos de este modelo. El primero de ellos se encuentra en Villamarchante (Valencia) y está realizado con el sistema de placas de hormigón de muro doble enfoscados en blanco por la parte exterior. La construcción final se adapta a la perfección al modelo preestablecido (Fig.98 y 99).

El segundo proyecto situado en Banyoles (Girona) sufre algunas modificaciones con respecto al modelo original por así requerirlo los clientes. La diferencia más llamativa desde el exterior es que este proyecto sólo tiene una altura pero en cambio tiene una zona de porche que le servirá al usuario para guardar su vehículo. Actualmente se encuentra en proceso de construcción. Los paneles de hormigón esta vez son macizos en hormigón blanco. La vivienda se eleva sobre un forjado sanitario cáviti. El forjado de cubierta, resuelto por el sistema de losa alveolar, se apoya en un retranqueo que sufre el muro para realizar el peto de cubierta.

### Modelo LINE

Adaptable y familiar. Consiste en una vivienda adosada con espacios longitudinales que se relacionan entre sí. El conjunto genera una sensación de unidad.

El programa se distribuye en dos plantas. En la planta baja encontramos el estar-comedor, cocina, zona de juegos/lectura, aseo, escalera, lavadero y porche. En la planta primera además de un espacio



FIG. 98 - VILLAMARCHANTE EN ESQUINA – ARCHIVOS UBIKO



FIG. 99 - VILLAMARCHANTE ALZADO - ARCHIVOS UBIKO

hueco que sirve de doble altura al salón, tenemos 3 dormitorios, baño común, baño privado, vestidor, estudio y terraza privada. En total se tiene una superficie construida de 141,07 m<sup>2</sup> mientras que de terrazas se tienen 6,80 m<sup>2</sup>.

En Arroyomolinos (Madrid) estamos realizando una adaptación del modelo line pero en esquina, es decir, con una medianera y tres fachadas. Además de esto el proyecto ha crecido en ambas direcciones aumentando su superficie total construida y útil tal y como demandaban los propietarios. En este proyecto, las placas de hormigón que se utilizan son también macizas como en Banyoles pero serán de toda la altura de fachada hasta la cimentación haciendo casi 9 metros de altura de placa, esto hace que el ancho de los muros sea menor (máximo 2,6m) para poder transportarlo y montarlo en obra. Los forjados de placas alveolares en este caso se apoyan sobre unas ménsulas, también de hormigón, que se le añaden a las placas y que van escondidas en el falso techo.

Un cambio que a simple vista puede parecer una tontería pero constructivamente no lo es tanto es que nos pidieron que una de las placas fuera vista también por el interior. Por las mesas que se tienen y la manera de fabricar las placas, resulta imposible tener el mismo acabado en las dos caras del muro. La superficie que descansa sobre la mesa queda totalmente lisa mientras que la de vertido, que es siempre la interior, habrá que fratarla e igualmente no tendrá el mismo acabado. Son cuestiones como esta donde vemos que el sistema todavía puede avanzar mucho si se continúa investigando.



**FIG. 100 - CALPE CORE EXTERIOR - ARCHIVOS UBIKO**



**FIG. 101- CALPE CORE INTERIOR - ARCHIVOS UBIKO**

### Modelo CORE

Flexible y fluida es la vivienda del modelo CORE. Consiste en un núcleo central alrededor del cual gira y se organiza el resto de la vivienda. Este núcleo central se compone principalmente de la escalera. Es una vivienda actual y con una distribución flexible de espacios amplios que se vinculan al exterior (Fig.100-101).

El programa se distribuye en dos plantas. En la planta baja encontramos el sala de estar, comedor, cocina-office, aseo, acceso, escalera, porche de acceso y porche principal. En la planta primera tenemos 3 dormitorios, baño, lavadero y un solarium. En total se tiene una superficie construida de 158,46 m<sup>2</sup> mientras que de terrazas se tienen 79,83 m<sup>2</sup>.



El modelo CORE se construirá en Calpe (Alicante). Este modelo se construye mediante muros macizos modulares de hormigón. En este caso los clientes quieren el mínimo número de juntas, esto quiere decir que las placas irán a tamaños máximos con lo que hay que llevar cuidado con el transporte y la manipulabilidad además de que se empleará la solución de incorporar poliestireno para aligerar.

#### Modelo BOX

Compacta y Funcional es como definiríamos en dos palabras el modelo BOX. Esta vivienda está prevista para familias no numerosas y el programa se distribuye en su totalidad en planta baja. Encontramos un estar-comedor, cocina, aseo, baño común, dos dormitorios, acceso y porche opcional. En total, la superficie construida de este modelo, suma 96,36 m<sup>2</sup>.

Podremos encontrar este proyecto en Madrid y en concreto en la localidad de Sevilla la Nueva. Actualmente se encuentra en fase de licencia.

Los cambios con respecto al modelo original es que la vivienda se ha estirado de manera que aumenta su superficie pudiendo de esta manera aumentar el programa. El sistema constructivo consiste en dos “C” estructurales enfrentadas en los lados cortos de las fachadas y un muro estructural también interior. Las dos fachadas largas se abren utilizando un sistema de paneles prefabricados de hormigón de espesor 12 cm que se alternan con los huecos que la vivienda necesita. Toda esta fachada está retranqueada respecto de las “C” de manera que los paneles se perciben como más ligeros.

#### Modelo A MEDIDA

En L’Elia (Valencia) estamos realizando un proyecto A MEDIDA con paneles macizos de hormigón también. En esta ocasión los clientes querían una vivienda realizada a medida que gracias a la modulación se ha podido realizar.

Todo el programa se desarrolla en planta baja. Posee un garaje, lavadero, almacén, cocina/comedor, salón, 2 cuartos de baño, 3 habitaciones y terrazas sumando un total de 186 m<sup>2</sup> de superficie construida de vivienda y 14,8 m<sup>2</sup> de superficie construida de terrazas. Se encuentra en fase de proyecto.



**FIG. 103 - MADRID BOX EXTERIOR - ARCHIVOS UBIKO**



**FIG. 102 - MADRID BOX INTERIOR - ARCHIVOS UBIKO**





## 9. RESULTADOS: CRITERIOS A TENER EN CUENTA PARA EL DISEÑO DE UN PROTOTIPO MODULAR OPTIMIZADO

Con la información que ya tenemos podemos realizar un análisis multicriterio de las diferentes experiencias para identificar los aspectos más relevantes que deberían considerarse para la propuesta de un prototipo de centro escolar. Este análisis, para que sea válido, ha de realizarse en cada etapa del ciclo de vida del edificio y desde diferentes indicadores como pueden ser económicos, tiempos de construcción, modulación, viabilidad de ejecución, impacto ambiental, energía embebida, contenido de materiales reciclables, calidades,...

Como vemos en la Fig. 104, al comparar la construcción tradicional con la industrializada y a su vez con la industrialización de los vehículos vemos que la construcción tradicional apenas aprueba los distintos apartados mientras que en la construcción industrializada ya supone una notoria mejoría. Del mismo modo vemos que todavía queda mucho camino por recorrer hasta llegar a la efectividad y optimización que ofrece el sector del automóvil. Para llegar a esto es importante que se produzcan ciertos cambios y, sobre todo, en la manera de proyectar.

Es importante tener en cuenta que hay dos maneras de construir. Una de ellas es cuando la tipología permite industrializar la mayor parte del edificio utilizando un sistema constructivo que la propia industria ofrece como los que ya conocemos (Compact Habit, Modultec, Yorkon, etc). Pero esta manera no es siempre posible por lo que en otras construcciones lo que se hace es recurrir a componentes que desarrollan las industrias como estructuras, cabinas, fachadas y que permiten reducir los tiempos de construcción.

Unas sencillas pautas que deben tenerse en cuenta de manera general en cada etapa en el ciclo de vida del edificio pueden resumirse de esta manera:

Un sistema modular es mucho más interesante si es optimizado. El diseño optimizado será el que, en el comparativo de todos los marcos, represente la mejor opción frente a los problemas que se plantean. Será el punto clave ya que el proyecto que tendrá más valor será aquel que consuma menos recursos tanto materiales como humanos y que además respete el medio ambiente. Si proyectamos pensando en la construcción industrial, se replantearían los materiales que se utilizan y además evolucionarían acercándose a la optimización industrial aprovechando al máximo los recursos. Se

| INDICADORES   | CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL | CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA | FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES |
|---|--------------------------|------------------------------|----------------------------|
| CALIDAD DE LOS ACABADOS   | 5                        | 7                            | 9                          |
| CALIDAD DE LAS PARTES OCULTAS   | 3                        | 7                            | 9                          |
| CALIDAD DE LA ESTRUCTURA  | 6                        | 9                            | 10                         |
| CALIDAD DE LAS INSTALACIONES  | 5                        | 8                            | 10                         |
| CALIDAD DE LOS MATERIALES   | 6                        | 7                            | 8                          |
| CALIDAD DEL AIRE  | 5                        | 5                            | 8                          |
| MEDIOS TÉCNICOS DE CONTROL  | 4                        | 7                            | 10                         |
| TRAZABILIDAD DE PRODUCTO  | 2                        | 8                            | 10                         |
| CONFORT TÉRMICO   | 6                        | 8                            | 8                          |
| CONFORT ACÚSTICO  | 5                        | 7                            | 7                          |
| CONFORT QUE DAN LOS MATERIALES ENVOLVENTES                              | 5                        | 6                            | 8                          |
| CONTROL DE LOS RESIDUOS   | 4                        | 8                            | 9                          |
| CONTROL DE LAS EMISIONES  | 4                        | 7                            | 8                          |
| CONTROL DE LOS MATERIALES RESPECTO AL MEDIO AMBIENTE                    | 4                        | 7                            | 8                          |
| CONTROL DEL MANTENIMIENTO   | 3                        | 6                            | 10                         |
| CALIDAD EN EL TRABAJO   | 3                        | 8                            | 9                          |
| SEGURIDAD EN EL TRABAJO   | 3                        | 9                            | 9                          |
| IMPACTO AMBIENTAL. ENTORNO PRÓXIMO EN LA CONSTRUCCIÓN/FABRICACIÓN. OBRA | 2                        | 8                            | 8                          |
| TIEMPOS DE CONSTRUCCIÓN/PRODUCCIÓN                                      | 3                        | 10                           | 10                         |
| EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA   | 4                        | 7                            | 9                          |
| TOTAL   | 82                       | 149                          | 177                        |

**FIG. 104 - TABLA COMPARATIVA – ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS BLOG ARQUITECTURA**

proyecta en conjunto con todos los especialistas que intervienen en la obra, ya no es sólo labor de una persona sino de un equipo de diseño.

Otro aspecto importante es establecer un criterio para considerar la relación entre el impacto ambiental y el cierre de los ciclos de materiales que presentan las distintas opciones. Se seleccionarán los materiales según representen la mínima energía y emisiones de CO<sub>2</sub> incorporadas y los máximos niveles de materia reciclada y efectivamente reciclable.

Un tercer aspecto importante es la cercanía al mercado que ha de verse reflejado en la elección de materiales, componentes, técnicas constructivas, etc. para conseguir de esta manera una versión optimizada del sistema modular. La cercanía de obtención de estos componentes es un factor importante para reducir el impacto ambiental que ocasiona el transporte. Imprescindible también es pensar que el transporte de los sistemas modulares hace que el ancho máximo estándar sea de 2,5 m y que además a la vuelta realiza el recorrido vacío doblando el impacto ambiental.

Es importante también tener en cuenta que los sistemas ligeros no tienen inercia térmica o prácticamente nula y esto hace que haya que incorporar mecanismos extras que aumenten su masa para mejorar así el comportamiento térmico del conjunto.

Hay que evitar la utilización de materiales que necesiten ser revisados periódicamente porque reduce su eficiencia y esto se traduce en un aumento de coste; sobre todo hay que controlarlo en aquellos proyectos que utilicen materiales con alto impacto ambiental.

Además hay que ser conscientes de que los edificios pueden combatir de una manera importante las emisiones de CO<sub>2</sub> gracias a que son capaces de captar más energía renovable de la que consumen.

Vamos a definir ahora, gracias a todos los sistemas y ejemplos estudiados, qué aspectos son los más importantes en cada etapa del ciclo de vida de la construcción mediante sistemas modulares industrializados optimizados.

### 9.1 Extracción y fabricación de materiales

Durante la fase de extracción y fabricación de materiales (Fig. 105) se busca la menor cantidad de materiales y de menor impacto ambiental. La construcción modular ligera tiene el mínimo peso y así facilita las labores de transporte y montaje por tanto hay que estudiar el uso de materiales que puedan ser reemplazables por sus elevados indicadores de energía. Por tanto los criterios de mejora consisten en buscar alternativas en materiales naturales renovables, reciclados y reciclables y de baja energía y CO2 incorporados puesto que reducir más la cantidad de materiales es muy difícil. Además tienen que ser materiales durables y de una frecuencia baja de mantenimiento.

### 9.2 Transporte

En cuanto al transporte (Fig. 106), es mejor buscar materiales de la zona y que además la fábrica que produzca los edificios modulares esté cerca también. Igualmente hay que optimizar y racionalizar los movimientos y cargas. También hay que tener en cuenta que la norma ISO ha ido regulando las medidas, los ángulos y los pesos totales de los contenedores desde 1968. Actualmente este sistema de contenedores es dominante en todo el mundo. Las medidas son el alto máximo de 2,896 m, el largo puede ser de hasta 16,1544 m mientras que el ancho máximo sería de 2,438m. El peso máximo, 1650 Kg/m<sup>2</sup> es suficientemente amplio para las construcciones ligeras pero es un aspecto muy condicionante en el sistema modular de hormigón. Encajar los módulos habitables en estas medidas además de no plantear grandes dificultades, hace que se disponga de una oferta amplia y de bajo coste, reduciendo el impacto ambiental en esta etapa del ciclo de vida. El único problema lo encontraríamos en el ancho que se ve muy reducido, por esto, mediante una junta longitudinal en forjados y paredes se unen dos módulos obteniéndose un ancho mayor. Durante el transporte habrá que proteger esas caras de los módulos.

### 9.3 Construcción

En la fase de construcción (Fig. 107), el impacto ambiental se ve reflejado en la generación de residuos, emisiones y demás efectos producidos por las cimentaciones que se realizan mediante sistemas convencionales que además no permiten recuperar los materiales. El tamaño de las cimentaciones

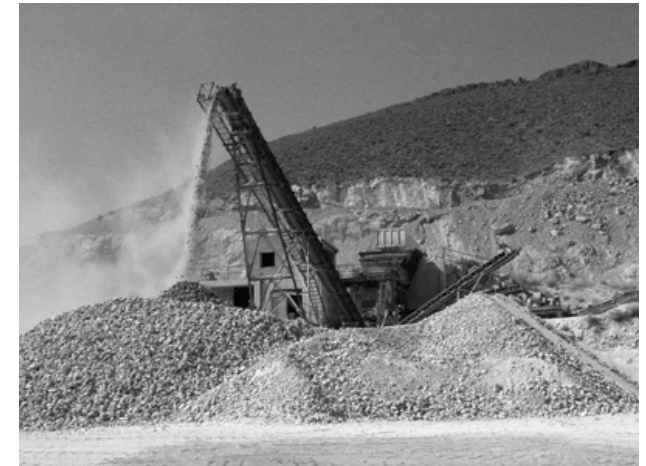


FIG. 105 - EXTRACCIÓN Y FABRICACIÓN -  
WWW.INTEREMPRESAS.NET



FIG. 106 – TRANSPORTE- [HTTP://BLOG.IS-  
ARQUITECTURA.ES/](http://blog.is-arquitectura.es/)



**FIG. 108 – CONSTRUCCIÓN - WWW.EUROBOX.ES**



**FIG. 107 – MANTENIMIENTO - BLOG.HAZMEPRECIO.COM**

depende de tres aspectos fundamentalmente: las condiciones del suelo, las cargas que se tengan que trasladar al terreno y los mínimos que establece la norma y que se basan en la construcción convencional. Con todo esto vemos que el problema, además de no poder recuperar los materiales, es que está sobredimensionado y que las condiciones varían dependiendo del lugar con lo que una solución prefabricada no valdría para todos los tipos de terreno. Las soluciones recuperables son en gaviones de piedra y malla de acero galvanizado, ambos reciclados. En cuanto a las cargas no se tienen en cuenta; sólo la carga y el suelo. Respecto a las condiciones del suelo se adopta un valor promedio. En conclusión es importante que el edificio sea lo más industrializado posible, incluso las cimentaciones si se pudiera, el uso de pocos materiales y juntas secas ya que son reversibles.

#### **9.4 Uso**

Durante su uso, la manera de mejorar el sistema modular consiste en disminuir la demanda y aumentar la eficiencia además de incorporar energías renovables. El uso de programas como el CERMA nos demuestra que los sistemas ligeros presentan problemas en climas cálidos. La incorporación de un espesor mayor o más calidad del aislamiento térmico no solucionaba el problema debido a que se llega al límite de utilidad térmica. Es necesario incorporar materiales con inercia térmica para que aprovechen las diferencias de temperatura a lo largo del día y la noche. Tres posibles alternativas para conseguir esto, teniendo en cuenta los indicadores son: las gravas recicladas, el agua y, ocasionalmente, los materiales de cambio de fase (aquellos que se funden o solidifican en temperaturas muy próximas a las de confort mediante la absorción o cesión de energía térmica al entorno) aunque no son tan comunes y no está tan clara su evaluación ambiental.

#### **9.5 Mantenimiento**

En la fase de mantenimiento (Fig. 108) y para evitar la baja durabilidad de los sistemas modulares y el alto impacto ambiental, se determinan unos criterios: utilizar materiales de mayor durabilidad, disminuir las cantidades y escoger las opciones de menos impacto como pueden ser los materiales naturales, o reciclados o de baja energía incorporada. Como ejemplo podríamos sustituir las carpinterías de chapa de acero por madera laminada o los tableros de madera por chapa de aluminio reciclado en fachadas. También se deberán eliminar los materiales que supongan el consumo de

muchos productos para su mantenimiento como el pintado periódico del galvanizado en las estructuras de acero entre otros.

### **9.6 Deconstrucción**

Durante su deconstrucción se generarán pocos residuos y pocas alteraciones en el terreno si utilizamos las cimentaciones de hormigón armado por gaviones de piedra natural y acero galvanizado reciclados; si utilizamos sistemas convencionales serán diferentes. Importante es también el uso de juntas reversibles, materiales no adheridos que favorecerán la separación selectiva para su reutilización, rehabilitación o reciclado. El haber escogido pocos materiales provocará una sencilla gestión para el reciclado.

### **9.7 Resultados y ventajas del diseño modular optimizado**

La célula de vivienda que se ha estudiado con los diferentes sistemas modulares tanto pesados como ligeros y también mediante el sistema convencional puede mejorarse si se tienen en cuenta las pautas recomendadas, anteriormente comentadas, de cada fase.

En este caso, el diseño optimizado se resolvería con dos módulos que se unen por las caras largas en las que no hay cerramiento quedando una vivienda de 4,88 m de ancho por 9,14 de profundidad con una superficie de 44,6 m<sup>2</sup> y una superficie útil de 39 m<sup>2</sup>. Como los módulos están abiertos deben recubrirse y protegerse hasta estar colocado en obra con lo que este material recuperable tiene que ser considerado parte del sistema constructivo. Además hay que tener muy en cuenta el tratamiento de las juntas; las fijaciones mecánicas serán sistemas autoencajables atornillados, la junta reversible contará con materiales elásticos para garantizar la estanqueidad. En cubierta el cerramiento es de chapa de aluminio independiente de los módulos se dispone pasando sobre todas las juntas.

En cuanto al resumen del ciclo de vida del diseño optimizado, las etapas de extracción y fabricación de materiales y la etapa durante su uso, concentran la mayor parte del impacto ambiental y de consumo de energía.

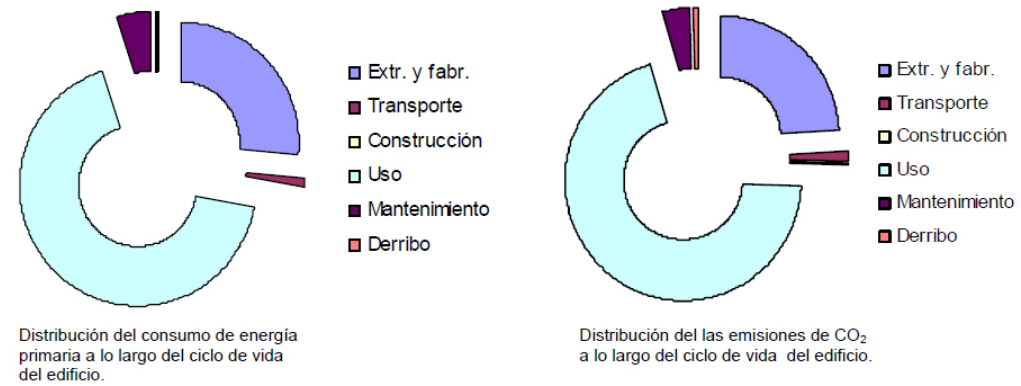


FIG. 109 - SISTEMA OPTIMIZADO – TESIS WADEL (2009)

Partiendo de la base de que el sistema convencional representa un valor del 100%, lo vamos a comparar con los sistemas modulares pesados de hormigón, ligeros de madera y metal y el sistema modular optimizado. Al compararlo, podemos ver que este sistema genera menos impactos globales y que le sigue el sistema modular ligero de madera, luego el pesado de hormigón y por último el de acero.

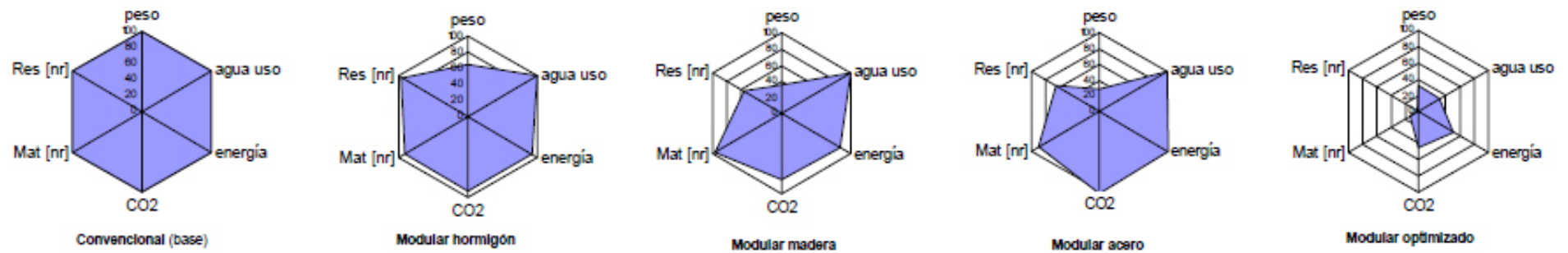


FIG. 110 - ANÁLISIS COMPARATIVO OPTIMIZADO - TESIS WADEL (2009)

Tras este estudio podemos concluir con que es posible reducir casi todos los indicadores del impacto ambiental mediante los cambios propuestos en cada fase. Con este diseño modular optimizado se consigue disminuir el 50% o más del consumo de materiales, energía, emisiones de CO<sub>2</sub>, residuos, etc. Además de que la reciclabilidad aumenta, con este sistema, hasta el 95%.

Aun así siguen apareciendo problemas y obstáculos a superar que podemos destacar de cada etapa de la siguiente manera:

- Extracción y fabricación de materiales: los materiales deberían participar más de energías renovables y eliminar los procesos tóxicos.
- Transporte: los camiones deben reducir el consumo o utilizar combustibles renovables además de prever los viajes de regreso a carga completa. Son importantes también los radios en los que las fábricas pueden ser eficientes.
- Construcción: desarrollar cimentaciones que puedan adaptarse a diferentes cargas de suelos, que se puedan recuperar y reciclar.
- Uso: estudiar cada clima para elaborar una solución acorde con él que reduzca el consumo y que además este se obtenga a partir de medios sostenibles.
- Mantenimiento: tratamientos naturales para los materiales que así lo exijan.
- Deconstrucción: desarrollar materiales que se puedan descomponer en otros más simples y reciclables haciendo más eficiente la deconstrucción en cuanto al tema de instalaciones.

Además de esas pautas que debemos cumplir para realizar un diseño modular optimizado, el hacerlo, nos ofrece ciertas ventajas sobre los sistemas convencionales:

- Optimización: aprovechamiento absoluto de todos los recursos que existen como los materiales, el tiempo, dinero, energía, etc. gracias a que lo que era un producto artesanal pasa a ser industrializado.
- Rendimiento: la optimización va ligada al rendimiento ya que se mejora el aprovechamiento de todos los recursos que hemos hablado.
- Independencia de la climatología: como la ejecución de los trabajos se realizan en taller en un 95%, se reducen los parones, hasta ahora infranqueables, debidos a condiciones meteorológicas adversas y además los trabajadores tienen unas mejores condiciones laborales.

- Modulabilidad: como dice Luis Fernández Galiano: "Al que modula dios lo ayuda". La modulación hace posible conseguir, mediante módulos tipo, inacabables tipologías de construcciones.
- Calidad: empleo de las nuevas y más avanzadas tecnologías en cuanto a instalaciones, acabados, domótica, confort, etc. y su realización en taller hace que la calidad aumente de manera exponencial.
- Exactitud: a la hora de proyectar es necesario prever el paso de cualquier instalación, tener claro cualquier encuentro ya que no es improvisa en obra. Esto tiene la ventaja de que al ser exacto facilita el mantenimiento ante cualquier necesidad.
- Limpieza: el producto llega a obra totalmente acabado y limpio.
- Ahorro de materiales: se debe a tres factores algunos ya mencionados. Optimización por el ahorro de material que se usa en cada elemento, gran disminución de escombros y reutilización de productos.
- Industria: se crean nuevos puestos de trabajo en mejores condiciones que los de a pie de obra ya que se reducen los riesgos laborales además de que favorece un conocimiento más exhaustivo de lo que se está haciendo por parte de los trabajadores.
- Simultaneidad: se pueden solapar distintas fases del proyecto como por ejemplo la de gestión de suelo con la de la ejecución material de las viviendas haciendo que el tiempo final sea menor.
- Control del proyecto: se controla totalmente los tiempos de ejecución y el coste total del proyecto de manera que se reducen las desviaciones provocadas por la construcción in situ.
- Exportación: las construcciones modulares producidas en fábrica pueden ser distribuidos en todo el planeta, por lo que el sector no dependerá de crisis locales o nacionales. El problema de esto es el consumo y emisiones que produce el transporte.
- Reducción del impacto de la obra: ya que se eliminan los focos contaminantes; se disminuye el impacto acústico y también el impacto visual de la obra.
- Menor contaminación: disminuye del tráfico de camiones a la obra ya que se limita al transporte de los módulos ya terminados. Se reduce de esta manera la contaminación ambiental y acústica.

En definitiva, conociendo en profundidad el sistema constructivo y sus etapas, conseguimos una mejora en la eficiencia, técnica y sostenibilidad del sistema provocando directamente un ahorro en costes tanto al usuario como al medio ambiente.



## 10. CONCLUSIONES

En este capítulo intentaremos sintetizar a modo de decálogo unas conclusiones tanto positivas como negativas que son unos puntos de especial interés ambiental que se han detectado. Podemos hablar de:

- Hay que cambiar la manera de proyectar para favorecer la industrialización y dejar a un lado el sistema convencional.
- Dentro de los sistemas modulares tridimensionales, para que no sea necesaria una estructura adicional la altura de la combinación de unidades no debe superar las tres o cuatro plantas.
- Es necesario que la profundidad edificable esté comprendida entre seis y doce metros de manera que permita una buena iluminación y ventilación natural.
- Siempre que se pueda han de realizarse cimentaciones superficiales, prefabricadas, aisladas y recuperables que reduzcan el peso ambiental y la rapidez de ejecución.
- La elección de materiales es muy importante, por esto es mejor elegir sistemas constructivos basados en el acero y en la madera ya que la tecnología de estos materiales está muy difundida y da la posibilidad de reciclarse, siempre y cuando se realicen juntas en seco o atornilladas, además de tener buenas respuestas técnicas. En los casos de hormigón y aluminio no se responde de la misma manera a estas condiciones, todavía ha de estudiarse mucho la tecnología de estos materiales.
- Lo ideal sería proyectar edificios que puedan montarse, desmontarse, que se trasladen y se puedan volver a montar en otro sitio para volver a usarse de manera que no se pierda nada por el camino o lo mínimo posible. También es interesante que puedan parcialmente reutilizarse, rehabilitar o reciclar componentes y materiales.
- Hay que ser conscientes de lo que fabricamos en los talleres ha de transportarse con lo cual tiene que tener unas medidas y peso máximo que sean admitidas por el medio de transporte por el que vayan a ser llevadas a obra y que además pueda manipularse en obra sin problemas.

También se detectan características negativas para el medio ambiente que habrá que tener en cuenta para intentar resolver o evitar. Es cierto que mejorar más en algunos campos resulta complicado puesto que se ha llegado en ocasiones a los límites fijados por las técnicas, productos o la información

existente. En cuanto a los problemas, hay que tener en cuenta que muchas mejoras a introducir conllevan efectos negativos. Con esto podemos elaborar una lista de obstáculos a superar:

- Es mejor construir edificios plurifamiliares que unifamiliares puesto que la repercusión por superficie de cualquier partida se reduce además del impacto ambiental y el consumo de suelo. Debido a la altura recomendada que se ha dado podría no ser suficiente para un tejido urbano de alta densidad ya que aunque la repercusión per cápita sea mucho menor que la habitual, el consumo de suelo es mayor.
- Disponer de materiales con mayor participación de energía renovables, eliminación de procesos tóxicos y reciclaje de recursos en sus procesos de fabricación. En general, tener en cuenta los objetivos ambientales en el diseño y en el proceso productivo pensando siempre en la recuperación de materiales al final de la vida útil del edificio no utilizando juntas húmedas, adhesiones, materiales compuestos, diferencias entre modulaciones,...
- Aumentar la eficiencia de transporte y definir los radios de acción en los que las fábricas modulares pueden ser eficientes.
- Desarrollar cimentaciones adaptables a distintos suelos y que sean recuperables y reciclables así como utilizar grúas de menor consumo o impulsadas por energías renovables.
- Estudiar los sistemas según la demanda de cada clima en cada emplazamiento así como los equipos e instalaciones de mayor eficiencia.
- No hay que desaprovechar las estrategias pasivas de climatización como la inercia térmica y asilamiento, la captación y protección solar, ventilación cruzada, etc., puesto que de esta manera se deja de abusar de los sistemas activos que conllevan un alto gasto energético.
- Utilizar tratamientos naturales para la madera que aumenten su durabilidad y/o disminuyan el impacto ambiental en cada aplicación.
- Desarrollar productos de instalaciones que puedan descomponerse en materiales reciclables.

## 11 ANEJOS

### 11.1 Tabla comparativa de sistema convencional y modular (*Wadel, 2009*)



**Síntesis de fases del ciclo de vida**

| <b>Peso</b> Kg/m <sup>2</sup> | <b>Extr. y fabr.</b> | <b>%</b> |  |  |  | <b>Mantenim.</b> | <b>%</b> |  | <b>Total</b> |
|-------------------------------|----------------------|----------|--|--|--|------------------|----------|--|--------------|
| Convencional                  | 1.464,55             | 97,3%    |  |  |  | 41,12            | 2,7%     |  | 1.505,67     |
| Modular hormigón              | 945,86               | 97,3%    |  |  |  | 26,74            | 2,7%     |  | 972,59       |
| Modular madera                | 506,83               | 94,5%    |  |  |  | 29,69            | 5,5%     |  | 536,51       |
| Modular acero                 | 408,57               | 94,6%    |  |  |  | 23,10            | 5,4%     |  | 431,66       |

| <b>Agua</b> m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | <b>Extr. y fabr.</b> | <b>%</b> |  | <b>Uso</b> | <b>%</b> | <b>Mantenim.</b> | <b>%</b> |  | <b>Total</b> |
|--|----------------------|----------|--|------------|----------|------------------|----------|--|--------------|
| Convencional                               | 28.300,61            | 11,8%    |  | 210.240,00 | 87,8%    | 974,27           | 0,4%     |  | 239.514,89   |
| Modular hormigón                           | 29.258,54            | 12,1%    |  | 210.240,00 | 87,0%    | 2.065,72         | 0,9%     |  | 241.564,26   |
| Modular madera                             | 12.694,20            | 5,6%     |  | 210.240,00 | 92,8%    | 3.623,02         | 1,6%     |  | 226.557,22   |
| Modular acero                              | 26.673,22            | 11,3%    |  | 210.240,00 | 88,7%    | 147,95           | 0,1%     |  | 237.061,17   |

| <b>Energía</b> MJ/m <sup>2</sup> | <b>Extr. y fabr.</b> | <b>%</b> | <b>Transp.</b> | <b>%</b> | <b>Construc.</b> | <b>%</b> | <b>Uso</b> | <b>%</b> | <b>Mantenim.</b> | <b>%</b> | <b>Derribo</b> | <b>%</b> | <b>Total</b> |
|----------------------------------|----------------------|----------|----------------|----------|------------------|----------|------------|----------|------------------|----------|----------------|----------|--------------|
| Convencional                     | 5.380,28             | 26,0%    | 188,22         | 0,9%     | 360,78           | 1,7%     | 13.864,50  | 66,9%    | 409,82           | 2,0%     | 516,42         | 2,5%     | 20.720,02    |
| Modular hormigón                 | 5.986,60             | 31,3%    | 166,29         | 0,9%     | 21,66            | 0,1%     | 12.045,50  | 62,9%    | 858,00           | 4,5%     | 77,10          | 0,4%     | 19.155,15    |
| Modular madera                   | 2.932,44             | 16,6%    | 409,75         | 2,3%     | 18,65            | 0,1%     | 12.823,00  | 72,5%    | 1.441,08         | 8,1%     | 58,16          | 0,3%     | 17.683,08    |
| Modular acero                    | 6.685,21             | 31,6%    | 151,46         | 0,7%     | 18,65            | 0,1%     | 13.403,00  | 63,4%    | 826,33           | 3,9%     | 58,16          | 0,3%     | 21.142,81    |

| <b>Emisiones</b> KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> | <b>Extr. y fabr.</b> | <b>%</b> | <b>Transp.</b> | <b>%</b> | <b>Construc.</b> | <b>%</b> | <b>Uso</b> | <b>%</b> | <b>Mantenim.</b> | <b>%</b> | <b>Derribo</b> | <b>%</b> | <b>Total</b> |
|--|----------------------|----------|----------------|----------|------------------|----------|------------|----------|------------------|----------|----------------|----------|--------------|
| Convencional                                       | 600,49               | 38,6%    | 15,01          | 1,0%     | 43,21            | 2,8%     | 802,47     | 51,6%    | 51,84            | 3,3%     | 41,00          | 2,6%     | 1.554,02     |
| Modular hormigón                                   | 615,48               | 42,6%    | 13,26          | 0,9%     | 1,73             | 0,1%     | 700,00     | 48,5%    | 105,93           | 7,3%     | 8,01           | 0,6%     | 1.444,41     |
| Modular madera                                     | 292,85               | 22,9%    | 32,67          | 2,6%     | 1,49             | 0,1%     | 752,33     | 58,8%    | 194,83           | 15,2%    | 4,61           | 0,4%     | 1.278,78     |
| Modular acero                                      | 708,66               | 43,9%    | 12,07          | 0,7%     | 1,49             | 0,1%     | 790,30     | 48,9%    | 97,58            | 6,0%     | 4,61           | 0,3%     | 1.614,71     |

| <b>Toxicidad ambiental</b> ECAkg/m <sup>2</sup> | <b>Extr. y fabr.</b> | <b>%</b> | <b>Transp.</b> | <b>%</b> | <b>Construc.</b> | <b>%</b> | <b>Uso</b> | <b>%</b> | <b>Mantenim.</b> | <b>%</b> | <b>Derribo</b> | <b>%</b> | <b>Total</b> |
|---|----------------------|----------|----------------|----------|------------------|----------|------------|----------|------------------|----------|----------------|----------|--------------|
| Convencional                                    | 40.311,50            | 75,32%   | 438,56         | 0,8%     | 985,13           | 1,8%     | 9.773,60   | 18,3%    | 726,92           | 1,4%     | 1.287,98       | 2,4%     | 53.523,69    |
| Modular hormigón                                | 43.444,56            | 81,66%   | 387,46         | 0,7%     | 50,47            | 0,1%     | 8.604,70   | 16,2%    | 531,80           | 1,0%     | 182,36         | 0,3%     | 53.201,35    |
| Modular madera                                  | 9.835,98             | 46,25%   | 954,71         | 4,5%     | 43,45            | 0,2%     | 9.447,00   | 44,4%    | 846,21           | 4,0%     | 137,46         | 0,6%     | 21.264,80    |
| Modular acero                                   | 66.929,46            | 85,51%   | 352,91         | 0,5%     | 43,45            | 0,1%     | 10.033,00  | 12,8%    | 773,41           | 1,0%     | 137,46         | 0,2%     | 78.269,69    |

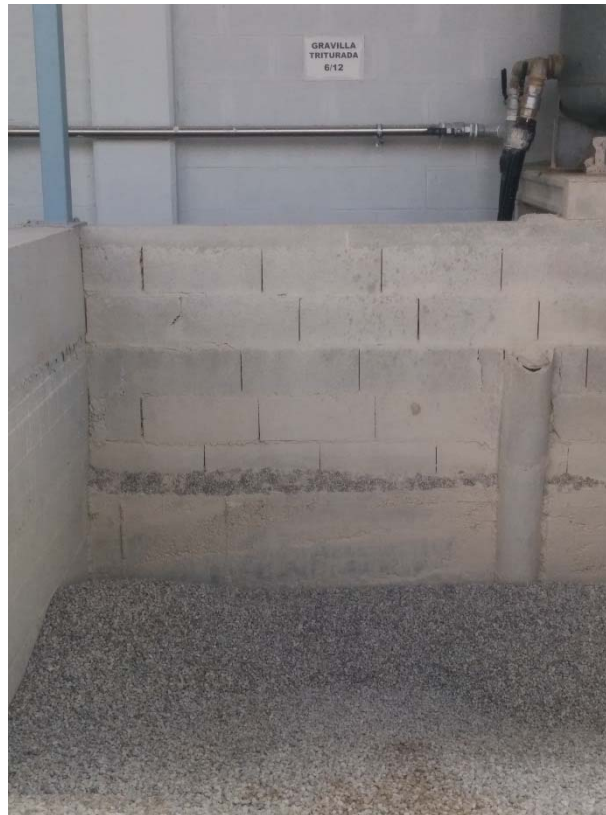
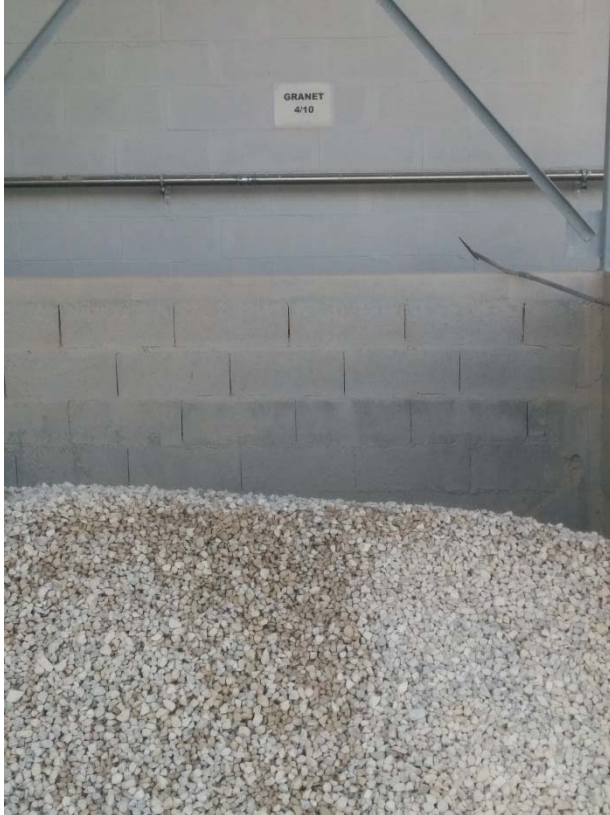
| <b>Toxicidad humana</b> HCA+HCWkg/m <sup>2</sup> | <b>Extr. y fabr.</b> | <b>%</b> | <b>Transp.</b> | <b>%</b> | <b>Construc.</b> | <b>%</b> | <b>Uso</b> | <b>%</b> | <b>Mantenim.</b> | <b>%</b> | <b>Derribo</b> | <b>%</b> | <b>Total</b> |
|--|----------------------|----------|----------------|----------|------------------|----------|------------|----------|------------------|----------|----------------|----------|--------------|
| Convencional                                     | 6,79                 | 50,0%    | 0,09           | 0,7%     | 0,6971           | 5,1%     | 5,50       | 40,4%    | 0,20             | 1,5%     | 0,30           | 2,2%     | 13,59        |
| Modular hormigón                                 | 7,51                 | 58,6%    | 0,08           | 0,6%     | 0,0110           | 0,1%     | 4,93       | 38,5%    | 0,23             | 1,8%     | 0,05           | 0,4%     | 12,82        |
| Modular madera                                   | 3,18                 | 33,9%    | 0,20           | 2,2%     | 0,0090           | 0,1%     | 5,65       | 60,2%    | 0,30             | 3,2%     | 0,04           | 0,4%     | 9,38         |
| Modular acero                                    | 12,26                | 65,2%    | 0,08           | 0,4%     | 0,0090           | 0,0%     | 6,13       | 32,6%    | 0,30             | 1,6%     | 0,04           | 0,2%     | 18,81        |



### **11.2 Reportaje fotográfico visita a HERMO S.L.**



























### **11.3 Documentación experiencias propias UBIKO**

11.3.1 Paneles modelos originales

11.3.2 Villamarchante

11.3.3 Banyoles

11.3.4 Arroyomolinos

11.3.5 Calpe

11.3.6 Sevilla la Nueva

11.3.7 L'Elia



## 11.4 Bibliografía

ADITAN. (2003). ADITAN. Obtenido de <http://www.aditan.net/>

Araujo, Ramón. Hormigón prefabricado y construcción en altura. *TECTÓNICA 5 Hormigón (II) prefabricado*. 14-21

Avellaneda, Jaume. La construcción en madera hoy. *TECTÓNICA 11 madera (I) / revestimientos- 4-13*

Avellaneda, J. (enero-marzo de 2009). La innovación tecnológica desde la promoción de vivienda pública: el Concurso de Innovación Técnica INCASOL. *Informes de la Construcción*, 61(513), 87-100. doi:10.3989/ic.09.002

BOE. 62. Sec.I Pág. 24831. Real Decreto 132/2010, de 12 de Febrero, por el que se establecen los requisitos mínimos de los centros que impartan las enseñanzas del segundo ciclo de la educación infantil, la educación primaria y la educación secundaria.

CIEGSA. Construcciones e Infraestructuras Educativas de la Comunidad Valenciana. (s.f.). Obtenido de <http://ciegsa.es/>

CIEGSA. INSTRUCCIONES PARA EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCIÓN DE CENTROS DOCENTES. Mayo 2011. Obtenido de <http://ciegsa.es/>

CIEGSA. MANUAL PARA LA REDACCIÓN DE PROYECTOS. Mayo 2011. Obtenido de <http://ciegsa.es/>

*Compact Habit*. (2009). Obtenido de Compact Habit: <http://www.compacthabit.com/>

DBSUA. Documento Básico. Seguridad de utilización y accesibilidad. Febrero 2010

Decathlon, S. (Septiembre de 2010). *Solar Decathlon Europe*. Obtenido de <http://2010.sdeurope.org/>

Decathlon, S. (Septiembre de 2012). *Solar Decathlon Europe*. Obtenido de <http://www.sdeurope.org/>

Decathlon, S. (Junio-Julio de 2014). *Solar Decathlon Europe*. Obtenido de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/>

density, R. f. (2014). *Rhome for density*. Obtenido de <http://www.rhomefordensity.it/intro/index.html>

DOGV - Núm. 4.771. ORDEN de 25 de mayo de 2004, de la Consellería de Infraestructuras y Transporte, por la que se desarrolla el Decreto 39/2004 de 5 de marzo, del Gobierno Valenciano en materia de accesibilidad en la edificación de pública concurrencia. [2004/X5644]

Edwards B., 2005. Guía básica de la Sostenibilidad. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.

Enrique Azpilicueta y Ramón Araujo. El mito industrial. TECTÓNICA 39 *Industrialización*

Frank Kaltenbach (2003). La cultura industrial. DETAIL- Revista de arquitectura. Vol. 9/2003, 912

Habraken, N. (2000). *El diseño de soportes* (2ª ed.). Barcelona, España: Gustavo Gili S.L.

HERMO. (s.f.). *HERMO S.L. Prefabricados de Hormigón*. Obtenido de <http://www.hermosl.net/>

Hormipresa. (s.f.). Obtenido de <http://www.hormipresa.com/>

ICAE2012 congreso sobre la envolvente arquitectónica. Obtenido de DETAIL-Revista de Arquitectura: <http://es.detail-online.com/>

Jáuregui, V. G. (Enero-Marzo de 2009). Habidite: viviendas modulares industrializadas. *Informes de la construcción*, 61(513), 33-46.

José Benito Rodríguez Vheda y Antonio Raya Blas. La imposible levedad del muro. TECTÓNICA 1 envolventes (I) fachadas ligeras. 10-21

Manuel Burón Maestro y David Fernández-Ordoñez. (Marzo-Abril de 1997). Evolución de la prefabricación para la edificación en España. Medio siglo de experiencia. *Informes de la construcción*, Vol. 48-448, 20-33.

Modultec. (s.f.). Obtenido de <http://www.modultec.es/>

Pons, O. (Octubre-Diciembre de 2010). Evolución de las tecnologías de prefabricación aplicadas a la arquitectura escolar. *Informes de la construcción*, Vol. 62-520, 15-26.

Núm. 5932/14.01.2009. DECRETO 2/2009, de 9 de enero, del Consell, por el que se establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los centros que impartan el Primer Ciclo de la Educación Infantil en la Comunitat Valenciana. [2009/195]

Programme, E. C. (2014). *Light2CAT*. Obtenido de <http://www.light2cat.eu/>

Resso. (2014). *Resso*. Obtenido de <http://www.resso.upc.edu/>

Reyes, F. A. (octubre-diciembre de 2008). D12 system: un juego para ser habitado. *Informes de la Construcción*, 60(512), 61-69. doi: 10.3989/ic.07.002

Torroja, E. (1991). *Razón y Ser de los Tipos Estructurales*. CSIC.

Trompeter, B. (s.f.). *RECKLI*. Obtenido de <http://www.reckli.de/>

Valenciana, G. (s.f.). *Construcciones e Infraestructuras Educativas de la Generalitat Valenciana*. Recuperado el 2014, de <http://ciegsa.es/>

Wadel, G. (Julio de 2009). *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. (A. Cuchí, Ed.) Cataluña, Universidad Politécnica de Cataluña: Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1.

### 11.5 Bibliografía de imágenes

|  |    |
|--|----|
| FIG. 1 – VIRAJE – <a href="http://WWW.VIRAJE.ES">WWW.VIRAJE.ES</a>   | 9  |
| FIG. 2 – UBIKO - <a href="http://WWW.UBIKO.ES">WWW.UBIKO.ES</a>  | 9  |
| FIG. 3 – HÁBITAT'67 - <a href="http://TIKINTI.ORG">HTTP://TIKINTI.ORG</a>  | 13 |
| FIG. 4 - SISTEMA BALLOON FRAME - <a href="http://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/">HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/</a>   | 16 |
| FIG. 5 - PATENTE EDWARD T. POTTER 1889 - <a href="http://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/">HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/</a>                                     | 16 |
| FIG. 6 - PATENTE JOSEPH R. WITZEL 1919 - <a href="http://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/">HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/</a>                                     | 17 |
| FIG. 7 - HOUSE ON WHEELS - <a href="http://GYPSYTRADERIMPORTS.BLOGSPOT.COM.ES/">HTTP://GYPSYTRADERIMPORTS.BLOGSPOT.COM.ES/</a>                         | 19 |
| FIG. 8 – QUONSET HUT – <a href="http://EN.WIKIPEDIA.ORG/">HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/</a>   | 19 |
| FIG. 11 – AIROH HOUSE - <a href="http://WWW.STANLEYHISTORYONLINE.COM/">HTTP://WWW.STANLEYHISTORYONLINE.COM/</a>  | 20 |
| FIG. 10 – DYMAXION HOUSE - <a href="http://BIOMIMI.COM/">HTTP://BIOMIMI.COM/</a>   | 20 |
| FIG. 9 – LUSTRON HOUSE - <a href="http://WWW.LUSTRONPRESERVATION.ORG/">HTTP://WWW.LUSTRONPRESERVATION.ORG/</a>   | 20 |
| FIG. 12 – LA MAISON MEUDON - <a href="http://ASTUDEJAOUUBLIE.BLOGSPOT.COM.ES/">HTTP://ASTUDEJAOUUBLIE.BLOGSPOT.COM.ES/</a>                             | 21 |
| FIG. 13 – CASA DESMONTABLE 8x8 - <a href="http://YTUQUEOPINASNESTORALMENDROS.BLOGSPOT.COM.ES/">HTTP://YTUQUEOPINASNESTORALMENDROS.BLOGSPOT.COM.ES/</a> | 21 |
| FIG. 14 – EAMES HOUSE - <a href="http://WWW.EAMESHOUSE250.ORG/">HTTP://WWW.EAMESHOUSE250.ORG/</a>  | 22 |
| FIG. 15 – CLASP SCHOOL - <a href="http://WWW.PBCA.CO.UK/">HTTP://WWW.PBCA.CO.UK/</a>   | 23 |
| FIG. 16 – ZIP SUP HOUSE - <a href="http://WWW.BBC.CO.UK/">HTTP://WWW.BBC.CO.UK/</a>  | 24 |
| FIG. 17 – STELCO HOUSE – TESIS WADEL (2009), CAP. 4, PÁG. 105  | 24 |
| FIG. 18 – NAGAKIN CAPSULE TOWER - <a href="http://WWW.DOCTOROJIPLATICO.COM/">HTTP://WWW.DOCTOROJIPLATICO.COM/</a>                                      | 25 |
| FIG. 19 – MODULI 225 - <a href="http://WILDCANARY.WORDPRESS.COM/">HTTP://WILDCANARY.WORDPRESS.COM/</a>   | 25 |
| FIG. 20 – MODULAR HOUSE - <a href="https://PROYECTOS4ETSA.WORDPRESS.COM/">HTTPS://PROYECTOS4ETSA.WORDPRESS.COM/</a>                                    | 26 |
| FIG. 21 – ALMERE HOUSE - <a href="http://WWW.ARCHDAILY.COM/">HTTP://WWW.ARCHDAILY.COM/</a>   | 26 |
| FIG. 22 – SIPS CONTEMPORÁNEO - <a href="http://BLOG.IS-ARQUITECTURA.ES/">HTTP://BLOG.IS-ARQUITECTURA.ES/</a>   | 26 |
| FIG. 23 – EDIFICIO ALTURA MADRID - ARTÍCULO BURÓN MAESTRO Y FERNÁNDEZ ORDOÑEZ. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN   | 27 |
| FIG. 24 – EVOLUCIÓN HISTÓRICA – ELABORACIÓN PROPIA   | 29 |
| FIG. 25 – TRANSPORTE MÓDULOS ESTÁNDAR - <a href="http://TDD.ELISAVA.NET/">HTTP://TDD.ELISAVA.NET/</a>  | 31 |
| FIG. 26 – AMPLIACIÓN TEMPORAL - <a href="http://PORELFORODEMISWEBS.FILES.WORDPRESS.COM/">HTTP://PORELFORODEMISWEBS.FILES.WORDPRESS.COM/</a>            | 31 |
| FIG. 27 – MÓDULO SISTEMA BALLOON FRAME- <a href="http://WWW.PROPROFS.COM/">HTTP://WWW.PROPROFS.COM/</a>  | 32 |
| FIG. 28 – PANELES MACIZOS MADERA LAMINADA. PARÁSITO DE LAS PALMAS, RÓTERDAM - <a href="http://TECTONICABLOG.COM/">HTTP://TECTONICABLOG.COM/</a>        | 32 |
| FIG. 29 - ESTRUCTURA METÁLICA BOTELLERO - <a href="http://WWW.ARYSE.ORG/">HTTP://WWW.ARYSE.ORG/</a>  | 33 |
| FIG. 30 – YORKON - <a href="http://WWW.BRIDGESCOMMUNICATIONS.CO.UK">WWW.BRIDGESCOMMUNICATIONS.CO.UK</a>  | 33 |
| FIG. 31 – MODULTEC - <a href="http://WWW.LACASAPORELTEJADO.EU">WWW.LACASAPORELTEJADO.EU</a>  | 33 |
| FIG. 32 - SISTEMA REACTION - <a href="http://WWW.UBIKO.ES">HTTP://WWW.UBIKO.ES</a>   | 34 |

|   |    |
|---|----|
| FIG. 33 - MODULAR ACCOMMODATION SYSTEM - <a href="http://www.idlearn.com.au">HTTP://WWW.IDLEARCH.COM.AU</a>           | 34 |
| FIG. 34 - DOMINO.12 - <a href="http://arquitecturasymas.blogspot.com.es">HTTP://ARQUITECTURASYMAS.BLOGSPOT.COM.ES</a> | 34 |
| FIG. 36 - ATPM - <a href="http://www.danieloso.com/">HTTP://WWW.DANIELTOSO.COM/</a>                                   | 35 |
| FIG. 35 - YACHT HOUSE - <a href="http://leibal.com/">HTTP://LEIBAL.COM/</a>   | 35 |
| FIG. 37 - TEN YEAR HOTEL - <a href="http://www.hotelchatter.com/">HTTP://WWW.HOTELCHATTER.COM/</a>                    | 35 |
| FIG. 38 - LOT-EK - <a href="http://www.arch2o.com">WWW.ARCH2O.COM</a>   | 36 |
| FIG. 39 - HOTEL I-SLEEP - <a href="http://www.ubiko.es/">WWW.UBIKO.ES/</a>  | 36 |
| FIG. 40 - YOSEMITE CABIN - <a href="http://thedesigndesignhome.com/">HTTP://THEDESIGNHOME.COM/</a>                    | 37 |
| FIG. 41 - MICROFLAT 2001 - <a href="http://www.archicentral.com">WWW.ARCHICENTRAL.COM</a>                             | 37 |
| FIG. 42 - LIVING HOMES - <a href="http://purecontemporary.blogs.com">HTTP://PURECONTEMPORARY.BLOGS.COM</a>            | 37 |
| FIG. 43 - HABIDITE - <a href="http://www.domoticaviva.com/">HTTP://WWW.DOMOTICAVIVA.COM/</a>                          | 38 |
| FIG. 45 - RATHENOW - <a href="http://www.architekturpreis-beton.de">WWW.ARCHITEKTURPREIS-BETON.DE</a>                 | 38 |
| FIG. 44 - OLDCASTLE - <a href="http://www.oldcastleprecast.com">WWW.OLDCASTLEPRECAST.COM</a>                          | 38 |
| FIG. 47 - ELCOGÁS - <a href="http://www.tectonica.es">WWW.TECTONICA.ES</a>  | 39 |
| FIG. 46 - MURRAY GROVE - <a href="http://modernarchitecturelondon.com">MODERNARCHITECTURELONDON.COM</a>               | 39 |
| FIG. 48 - DOLLMANN - <a href="http://detail-online.com/">HTTP://DETAIL-ONLINE.COM/</a>                                | 39 |
| FIG. 49 - MODULTECH - <a href="http://www.modultec.es">WWW.MODULTEC.ES</a>  | 40 |
| FIG. 50 - CONTAINER CITY - <a href="http://www.trinitybuoywharf.com">WWW.TRINITYBUOYWHARF.COM</a>                     | 40 |
| FIG. 51 - MICROFLAT 1991 - <a href="http://modulhomenewseek.blogspot.com">MODULARHOMENEWSEEK.BLOGSPOT.COM</a>         | 40 |
| FIG. 52 - GUGGENBICHLER Y NETZER - <a href="http://www.bki.de">WWW.BKI.DE</a>   | 41 |
| FIG. 53 - HABITAINER - <a href="http://habitainer.blogspot.com.es">HABITAINER.BLOGSPOT.COM.ES</a>                     | 41 |
| FIG. 54 - ALGECO PROGRESS - <a href="http://www.archiexpo.fr">WWW.ARCHIEXPO.FR</a>                                    | 41 |
| FIG. 57 - PROYECTO G - TESIS WADEL (2009)   | 42 |
| FIG. 56 - OPTION - <a href="http://tiny-houses.de/">HTTP://TINY-HOUSES.DE/</a>  | 42 |
| FIG. 55 - KAUFMANN 96 - <a href="http://eaabdiproyectos.blogspot.com.es/">HTTP://EAABDIPROYECTOS.BLOGSPOT.COM.ES/</a> | 42 |
| FIG. 58 - AMERICAN CENTER PARIS - <a href="http://caelanbristow.com">CAELANBRISTOW.COM</a>                            | 43 |
| FIG. 59 - SPACEBOX - <a href="http://ianmasterton.photoshelter.com">IAINMASTERTON.PHOTOSHELTER.COM</a>                | 43 |
| FIG. 60 - OFICINA GENERAL ESTADÍSTICA SUIZA - <a href="http://bauart.ch">HTTP://BAUART.CH</a>                         | 44 |
| FIG. 61 - COMPACT HABIT - <a href="http://www.construnario.com">WWW.CONSTRUNARIO.COM</a>                              | 44 |
| FIG. 62 - PROPUESTA VIRGINIA - <a href="http://2010.sdeurope.org/">HTTP://2010.SDEUROPE.ORG/</a>                      | 45 |
| FIG. 63 - PROPUESTA CEU - <a href="http://2010.sdeurope.org/">HTTP://2010.SDEUROPE.ORG/</a>                           | 45 |
| FIG. 64 - PROPUESTA CANOPEA - <a href="http://www.sdeurope.org/">HTTP://WWW.SDEUROPE.ORG/</a>                         | 46 |
| FIG. 65 - PROPUESTA PATIO 2.12 - <a href="http://www.sdeurope.org/">HTTP://WWW.SDEUROPE.ORG/</a>                      | 46 |
| FIG. 66 - PROPUESTA RHOME FOR DENCITY - <a href="http://www.solardecathlon2014.fr">WWW.SOLARDECATHLON2014.FR</a>      | 46 |



|  |    |
|--|----|
| FIG. 67 – PROPUESTA RESSÒ - <a href="http://WWW.SOLARDECATHLON2014.FR">WWW.SOLARDECATHLON2014.FR</a>           | 47 |
| FIG. 68 - ENRIC D'OSSÓ - <a href="http://ESCUELATERESIANA.COM/">HTTP://ESCUELATERESIANA.COM/</a>               | 49 |
| FIG. 69 - ESCUELA TIPO NADECO – ARTÍCULO ORIOL PONS. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN                               | 50 |
| FIG. 70 - DETALLE 1  | 50 |
| FIG. 71 - ESCUELA PREFABRICADA MODULTEU - ARTÍCULO ORIOL PONS. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN                     | 51 |
| FIG. 72 - DETALLE 2  | 51 |
| FIG. 73 - SISTEMA MODULBETON - ARTÍCULO ORIOL PONS. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN                                | 52 |
| FIG. 74 - DETALLE 3  | 52 |
| FIG. 75 - RIUMAR EN DELTEBRE - <a href="http://EULALIAARAN.WORDPRESS.COM">HTTP://EULALIAARAN.WORDPRESS.COM</a> | 53 |
| FIG. 76 - DETALLE 4  | 54 |
| FIG. 77 - CA N'ALZAMORA – ARTÍCULO ORIOL PONS. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN                                     | 54 |
| FIG. 78 - BORGES BLANQUES - <a href="http://WWW.MODULTEC.ES">WWW.MODULTEC.ES</a>                               | 55 |
| FIG. 79 - CEIP L'OLIVERA - <a href="http://BLOCS.XTEC.CAT">HTTP://BLOCS.XTEC.CAT</a>                           | 55 |
| FIG. 80 - DETALLE 5  | 56 |
| FIG. 81 - CAN ROCA - <a href="http://WWW.COAC.NET">WWW.COAC.NET</a>  | 56 |
| FIG. 82 - VORA EL MAR - <a href="http://WWW.BERICARQUITECTURA.CAT">WWW.BERICARQUITECTURA.CAT</a>               | 57 |
| FIG. 83 - ÀNGELS ALEMANY - <a href="http://WWW.PICHARCHITECTS.COM">WWW.PICHARCHITECTS.COM</a>                  | 57 |
| FIG. 84 - DETALLE 6  | 58 |
| FIG. 85 - VINYA DEL SASTRET - <a href="http://BLOCS.XTEC.CAT">HTTP://BLOCS.XTEC.CAT</a>                        | 58 |
| FIG. 86 - EDIFICIO VIVIENDAS BANYOLES - <a href="http://WWW.COMPACTHABIT.COM">WWW.COMPACTHABIT.COM</a>         | 76 |
| FIG. 87 - PLANTA TIPO BANYOLES – ELABORACIÓN PROPIA  | 76 |
| FIG. 88 - ESQUEMAS DE LOS DISTINTOS SISTEMAS – ELABORACIÓN PROPIA  | 77 |
| FIG. 89 - ANÁLISIS SISTEMA CONVENCIONAL – TESIS WADEL (2009)   | 79 |
| FIG. 90 - ANÁLISIS SISTEMA HORMIGÓN - TESIS WADEL (2009)   | 81 |
| FIG. 91 - ANÁLISIS SISTEMA MADERA - TESIS WADEL (2009)   | 84 |
| FIG. 92 - ANÁLISIS SISTEMA DE ACERO - TESIS WADEL (2009)   | 87 |
| FIG. 93 - ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS - TESIS WADEL (2009)   | 90 |
| FIG. 94 - HERMO S.L. - <a href="http://WWW.HERMOSL.NET">WWW.HERMOSL.NET</a>                                    | 91 |
| FIG. 95 – MESAS PLACAS - <a href="http://WWW.HERMOSL.NET">WWW.HERMOSL.NET</a>                                  | 92 |
| FIG. 96 - PLACAS TERMINADAS - <a href="http://WWW.HERMOSL.NET">WWW.HERMOSL.NET</a>                             | 92 |
| FIG. 97 - LIGHT2CAT - <a href="http://WWW.LIGHT2CAT.EU">WWW.LIGHT2CAT.EU</a>                                   | 93 |
| FIG. 98 - VILLAMARCHANTE EN ESQUINA – ARCHIVOS UBIKO   | 95 |
| FIG. 99 - VILLAMARCHANTE ALZADO - ARCHIVOS UBIKO   | 95 |
| FIG. 100 - CALPE CORE EXTERIOR - ARCHIVOS UBIKO  | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| FIG. 101- CALPE CORE INTERIOR - ARCHIVOS UBIKO   | 96  |
| FIG. 103 - MADRID BOX INTERIOR - ARCHIVOS UBIKO  | 97  |
| FIG. 102 - MADRID BOX EXTERIOR - ARCHIVOS UBIKO  | 97  |
| FIG. 104 - TABLA COMPARATIVA — ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS BLOG ARQUITECTURA                | 99  |
| FIG. 106 - EXTRACCIÓN Y FABRICACIÓN - WWW.INTEREMPRESAS.NET  | 101 |
| FIG. 105 — TRANSPORTE- <a href="http://blog.is-arquitectura.es/">HTTP://BLOG.IS-ARQUITECTURA.ES/</a> | 101 |
| FIG. 107 — MANTENIMIENTO - BLOG.HAZMEPRECIO.COM  | 102 |
| FIG. 108 — CONSTRUCCIÓN - WWW.EUROBOX.ES   | 102 |
| FIG. 109 - SISTEMA OPTIMIZADO — TESIS WADEL (2009)   | 104 |
| FIG. 110 - ANÁLISIS COMPARATIVO OPTIMIZADO - TESIS WADEL (2009)                                      | 104 |