CONSTRUCCION INDUSTRIALIZADA LIGERA.

Almudena Ribot, Doctora Arquitecta. Profesora titular del Departamento de Proyectos Arquitectónicos de la E.T.S.A.Madrid.

1. APROXIMACION

El modelo de la construcción tradicional de viviendas está hoy en decadencia. Los oficios ya no existen (o son muy caros) y la mano de obra especializada ha sido sustituida por personal sin especialización.

Por el contrario, la sociedad demanda a los edificios una creciente sostenibilidad y confort que implican una creciente complejidad de las soluciones constructivas aplicadas y de mayor calidad en su ejecución.

En este punto del debate de la arquitectura, los sistemas industrializados cobran cada día una mayor relevancia. Lamentablemente la palabra "industrialización" automáticamente suele asociarse con los Sistemas Cerrados (Sistemas de Modelos) que originan productos homogéneos estandarizados, de una calidad media y con una reducción de costos de producción. Modelos que dieron lugar a los innumerables edificios de viviendas impersonales de Europa del Este en la posguerra, nadie quiere repetirlos. Hoy está claro que estos no significan la única forma de industrialización posible.

Al igual que en la industria del automóvil o de la aviación se ha sustituido la cadena de montaje completa y cerrada de Henry Ford por el montaje de componentes de diversos suministradores, los Sistemas Industrializados Abiertos son una estrategia efectiva para responder a las necesidades contemporáneas de sostenibilidad y confort de buen uso, capaces de adaptarse a cualquier arquitectura rigurosa.
Desde esta perspectiva, la arquitectura ya no debe someterse a Sistemas Cerrados, sino aprovechar las ventajas de utilizar los procesos de ensamblaje de componentes con los catálogos que más se adecuan a los objetivos a cumplir.

Bajo esta óptica también se debe desterrar la idea, subyacente y heredada de la Seriación, de que la industrialización implica una bajada de costes. Esto contradice y no permite añadir las nuevas cualidades aportadas por la Industrialización Abierta ante las más exigentes demandas contemporáneas: calidad controlada, participación del usuario final y sostenibilidad, que se traducen en un mayor confort de uso y no tanto en un mero abaratamiento del proceso.

Calidad controlada. Desde la segunda mitad del siglo XX, estamos viviendo el desarrollo del diseño asistido por ordenador, y últimamente ya convivimos habitualmente con sus desarrollos en 3D. El CAM (Computer Aided Manufacturing) y el CNC (Computer Numerical Control) permiten actualmente no solo el corte y fresado computerizado de materiales, sino la fabricación digital robotizada. Avances que ya

están suficientemente asimilados como para no deslumbrarnos con acabados pseudo-tecnológicos, pero que evidentemente cuestionan el arcaicismo de la construcción tradicional y abren nuevas perspectivas. Con los modelos de diseño paramétrico y producción computerizada se modelan las estructuras y simultáneamente se controlan los materiales y sus tolerancias, pudiendo prever y prototipar más rápida y precisamente muchas de las variaciones y resultados finales. De la misma manera, en el taller se puede organizar un control de calidad más riguroso y además de todo el proceso, sin tener que resignarnos al chequeo de muestras puntuales como sucede en la obra tradicional. Esto significa que hoy se puede contar con las ventajas del taller Off-Site sin renunciar a las posibilidades que tiene la obra In-Site, como la facilidad para colocar materiales continuos o materiales frágiles que requieran un transporte demasiado complejo. Ahora es el momento de romper el antagonismo tradicional entre construcción Off-Site e In-Site y jugar con las ventajas de ambos procedimientos.

Participación del usuario final. El consumidor actual ya no es un receptor pasivo (se ha superado la clásica oposición productor-consumidor, *producer- consumer*) y es cada vez en mayor medida productor de sus propios deseos (la contracción inglesa *pro-sumer* es la que mejor explica esta nueva condición). Este cambio sucede en todas los campos y la arquitectura no es ajena a él. Todos somos autores. Una nueva actitud que es incompatible con la idea de que el Arquitecto siga siendo el autor único y central de todo el proceso, el artista que produce lo que el consumidor necesita. Tenemos que inventarnos nuevos sistemas y códigos de comportamiento que admitan la participación de un usuario contemporáneo, realmente activo y participativo. En este sentido, desde la perspectiva de la industrialización, es el momento de pasar del *mass-production* histórico al *mass-customization* demandado actualmente.

Sostenibilidad. Por otra parte, la creciente concienciación ecológica de la sociedad convierte en necesidad diseñar con estrategias pasivas e incorporar las estrategias activas de cara a potenciar el ahorro, un menor impacto medioambiental y un mayor confort de uso. Tareas que introducen una creciente complejidad de las soluciones a implementar a las que es difícil responder desde los conceptos tradicionales del diseño y la construcción. La Sostenibilidad de la industrialización desde un sentido energético, clave en la época actual, se puede definir como: "*ahorro y eficiencia en origen por el control del diseño y la fabricación; eficiencia en la puesta en obra y ahorro por la rapidez derivada de ella; ahorro y eficiencia en la vida útil del edificio por la técnica incorporada e, incluso, ahorro y eficiencia en la propia muerte del edificio, preparándolo a su particular "buen morir": el reciclaje. "*[1]

Desde este enfoque medioambiental, es importante tomar conciencia de que el coste energético no se reduce a la vida útil del edificio, sino también además al proceso previo. El 4% del consumo energético mundial se utiliza en la construcción, y de este porcentaje, el 60% en su estructura. En este aspecto cobra cada vez una mayor transcendencia la apuesta por los Sistemas Industrializados Abiertos Ligeros frente a los Pesados, entendiendo como tales en los que el peso "casco" (estructura resistente

y cerramientos) es claramente inferior al peso de un “casco” hecho a la manera tradicional, pudiendo llegar a ser solo un 10% de esta.

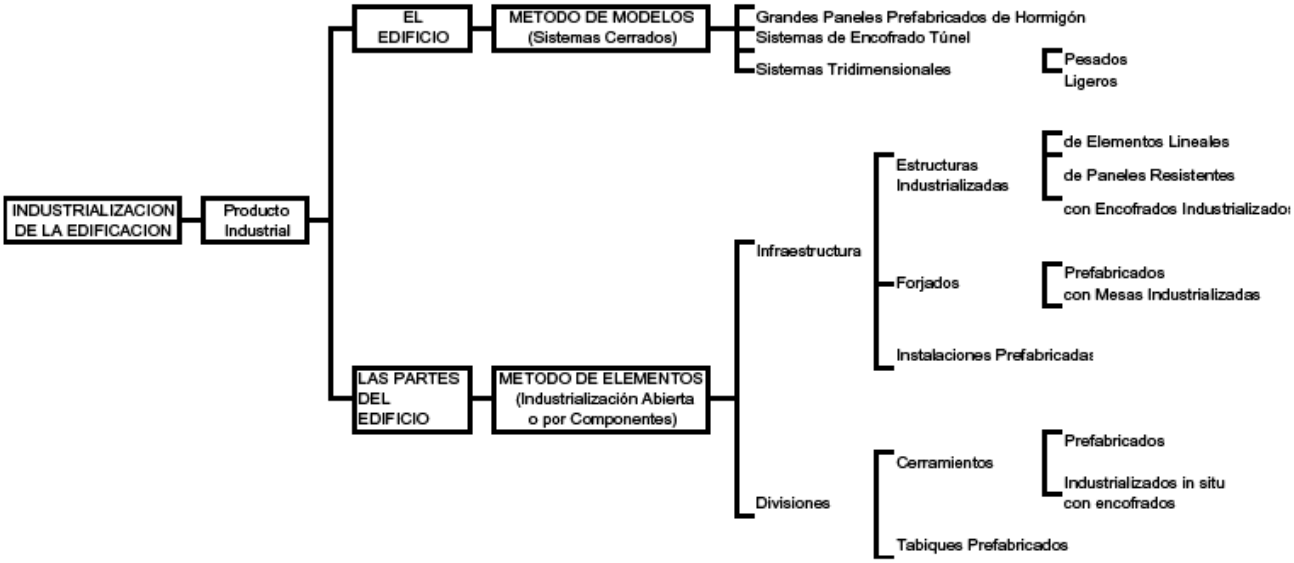
Por estas razones este capítulo se centrará en los Sistemas Industrializados Abiertos Ligeros y seleccionará los ejemplos que mejor responden a los planteamientos de calidad, participación y sostenibilidad. [2]

[1] RUIZ LARREA C. (2.012) ARQUITECTURA, INDUSTRIA, SOSTENIBILIDAD
http://arquitecturaeindustriaceramica.wordpress.com/2012/07/11/arquitectura-industria-y-sostenibilidad/

[2] Los ejemplos seleccionados son propuestas contemporáneas, sistemáticas -o susceptibles de convertirse en un sistema industrializado- y realmente construidas.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS LIGEROS

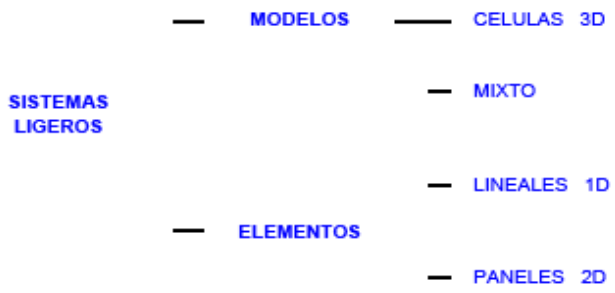
Tradicionalmente los sistemas Industrializados se han clasificado según las funciones que los elementos desempeñan dentro del conjunto construido (Cuadro 1).



Cuadro 1: Industrialización de la Edificación. Fuente: DEL AGUILA, A. (1.988) “Las tecnologías de la industrialización de los edificios de viviendas” Ed. COAM, Madrid.

Sin embargo, hoy tiene mucho más sentido incidir en la idea de ligereza y atender al consumo de materia prima de origen, optimización del transporte y puesta en obra energéticamente eficiente. Además parece interesante centrar el análisis en los sistemas que resuelven el “casco” de la edificación, y no dispersar el estudio en los sistemas de instalaciones prefabricadas ni de divisiones (cerramientos y tabiques) que son fundamentalmente catálogos de marcas comerciales con amplia difusión publicitaria.

De esta manera, focalizando la Ligereza como aspecto relevante del Elemento, la clasificación podría ser la reflejada en el Cuadro 2:



Cuadro 2: Industrialización Ligera. Nuñez Ribot Arquitectos.

3. MATERIALES EN LA INDUSTRIALIZACIÓN LIGERA

En la actualidad existe una enorme variedad de materiales de construcción disponibles para la industrialización ligera. Metales, madera y sus derivados, vidrio, polímeros, materiales compuestos y plásticos, conforman un extenso catálogo de soluciones aplicables a las diferentes necesidades requeridas. Sus propiedades materiales y valores estáticos determinan su adecuación como elementos sustentantes, como revestimientos interiores o como materiales de acabado.

Los materiales popularmente usados para los elementos resistentes en la industrialización ligera son la madera (aserrada, laminada o en tableros) y los aceros (laminados en caliente o conformados en frío). Otros materiales con buenas cualidades estructurales como el aluminio, los vidrios templados y los polímeros reforzados, si bien pueden tener mayores resistencias estructurales con menor peso, son generalmente más caros de fabricar y por ello menos utilizados.

3.1.ACERO

El acero es un material de gran plasticidad con una gran capacidad de soportar esfuerzos de tensión y compresión. Gracias a su comportamiento estructural estable y a su precisión dimensional es especialmente apropiado para soportar cargas en estos sistemas industriales, en sus formatos de perfiles laminados y perfiles de chapa conformada en frío. Además, su configuración como placas de chapa plegada puede realizar funciones de forjado colaborante, arriostramiento ante esfuerzos horizontales (en sustitución de las cruces de San Andrés), formación de sándwiches de cerramiento (convenientemente relleno con materiales aislantes), así como acabado de revestimientos de fachadas (incluso ventiladas).

Técnicas de unión: Lo más usual es el atornillado mediante tornillo+tuerca (en perfiles laminados) o tornillos autoperforantes (en perfiles de chapa conformada en frío) para las uniones realizadas en obra. En las uniones realizadas en taller también es usual la soldadura, incluso robotizada (en espesores > 2mm.) o el remachado y la deformación conjunta de la chapa (clinching) en los perfiles de menor espesor.

Sostenibilidad: Aunque la manufactura del acero requiere mucha energía, es el material más económicamente reciclable y no pierde sus características físicas

inherentes durante el proceso. La energía ahorrada reciclando reduce el consumo anual de dicha industria cerca del 75% y en la actualidad, cerca del 97% del acero utilizado en la construcción proviene de reciclaje.

3.2. MADERA

El uso de la madera como material de construcción ocupa el tercer lugar después del acero y el hormigón en importancia. Disponible en cualquier lugar, se distingue por tener una buena estabilidad con poco peso, se usa tanto en sistemas estructurales, acabados interiores y fachadas. A su favor juega su gran disponibilidad y su capacidad aislante. En su contra, como material vivo, es vulnerable a determinados agentes externos (humedad, hongos, xilófagos) por lo que tiene un ciclo de vida útil en función del tratamiento recibido. Además de los elementos tradicionales de madera aserrada en la construcción, la industria ha desarrollado numerosos materiales derivados de sus fibras y virutas mediante procesos de laminación y técnicas de prensado con diferentes aditivos mejorando sus prestaciones: Tableros de maderas laminadas, tableros de partículas y de fibras orientadas o no , según las necesidades. Los paneles de montantes de madera (Timber frame) y los paneles de madera maciza laminada cortados con CNC constituyen los elementos estructurales de mayor desarrollo en la actualidad.

Técnicas de unión: Las uniones tradicionales basadas en entallajes de la propia madera son poco usuales por precisar de carpinteros altamente cualificados. Las piezas de empalme de acero de distintos diseños (chapas planas encastrables atornilladas mediante espigas con tuerca, chapas planas conformadas con clavos atornilladas por el exterior, conexiones de ángulo o de apoyo) se usan predominantemente por su simpleza y sencillez de fabricación y colocación, así como la facilidad de cálculo de su resistencia.

Sostenibilidad: La madera es un material de fácil disponibilidad y con un bajo coste de obtención y elaboración. Además es un material con una gran capacidad aislante y es ligero. Aunque tiene una vida de servicio corta en relación a otros materiales, al final de su vida útil puede triturarse y ser de nuevo materia prima para tableros de partículas o fibras, o servir para pasta de celulosa.

4. CATÁLOGO

4.1. CÉLULAS

Las unidades modulares son células completas o componentes que pueden ser conectados in-situ (tanto horizontal como verticalmente hasta 3-4 pisos) para formar un edificio. Las células suelen estar construidas con un gran nivel de prefabricación y llegar a obra prácticamente terminadas tanto exterior como interiormente, incluso pudiendo contener el mobiliario fijo.

Las dimensiones de los módulos dependen del transporte. Las medidas estándar son hasta 2,88 por 8 metros y 3,20m de altura. Transportes especiales de hasta 6 por 20 metros y 3,70m de altura.

La estructura sustentante usualmente consiste en perfiles de acero o de madera ensamblados en taller, y dotados de prácticamente todos los acabados. Los cerramientos, en su versión más básica para construcciones provisionales, suelen consistir paneles sándwich de chapa con espuma de poliuretano colocados entre el esqueleto estructural, que hacen función de acabado tanto exterior como interior. Soluciones muy poco eficientes energéticamente. En construcciones más elaboradas el sándwich de aislamiento (prefabricado o conformado entre la retícula estructural y confinado entre chapas plegadas de acero o tableros de madera) suele independizarse del acabado exterior de piezas prefabricadas pegadas o atornilladas a una subestructura. Por el interior también suelen terminarse con revestimientos de madera o de placas de cartón yeso.

Sostenibilidad: Aunque con poco peso por unidad (100 a 150 KN), su transporte no es eficaz al trasladar gran cantidad de metros cúbicos vacíos. Funcionan bien las células de pequeño tamaño. A excepción de estas su uso se suele limitar a construcciones provisionales o aquellos casos en que la obra deba ser completada con urgencia.

Micro-compact Home (mch).

Horden Cherry Architects / Haack + Höpfner Architekten.

Universidad de Munich + MOMA Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling.

Célula de vivienda temporal minimizada al máximo, planteada primero como trabajo de Universidad (Technische Universitat Munich 2001) y más tarde perfeccionada para la compañía de comunicación O2 . Expuesta en el MOMA 2008.

Un cubo de 2,66m que utiliza toda su altura para incorporar programa. Armazón de madera, revestido al exterior por paneles de aluminio anodizado y al interior por PVC. Se fabrica en Austria por GmbH, pesa 2,2 Tn y se transporta de una vez, en camión grúa, remolque o helicóptero**.**

Figura 1

Figura 1. Alzado y Secciones. Autores

Figura 2

Figura 2. Exterior. Sascha.Kletzsch,Munich

Figura 3

Figura 3. Maqueta en densidad. Autores

Figura 4

Figura 4. Montaje. Sascha.Kletzsch,Munich

Casa Prefabricada Danesa

ONV Architects, Vanlose.

Casa totalmente equipada. Propone en 6 variaciones básicas, un sistema de modelos crecedero en horizontal. La estructura es de madera, el exterior se reviste también de madera y el interior de paneles de fibra. La célula de menor tamaño se lleva en camión grúa y el resto se fabrican en varios módulos que se ensamblan en obra, solapando las impermeabilizaciones y conectando las instalaciones.

Figura 5

Figura 5. Esquema de Planta. Autores

Figura 6

Figura 6. Transporte. Willanordic..se/da

Figura 7

Figura 7. Montaje. Willanordic..se/da

Figura 8

Figura 8. Exterior. Per Johansen.Denmark

Cellophane House

Kieran Timberlake Associates.

MOMA Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling.

Casa manifiesto fabricada para la exposición del MOMA con vocación de no permanencia y materiales removibles. La propuesta está a medio camino entre la tridimensionalidad por módulos y los paquetes del 2D, ya que utiliza bloques o lotes de componentes integrados tridimensionales y también elementos planos.

Utiliza una estructura metálica, armazones de aluminio y muchos materiales clipados o temporalmente ensamblados, sin atornillar. Se realizó fundamentalmente en taller y sus numerosos componentes se llevaron en camiones.

Figura 9

Figura 9. Componentes del sistema. Autores

Figura 10

Figura 10. Esquema de montaje. Autores

Figura 11

Figura 11. Vista. Autores

Figura 12

Figura 12. Vista exterior. Peter Aaron/Esto

4.2. ELEMENTOS LINEALES

Los sistemas estructurales de esqueleto consisten en la construcción de un entramado resistente de elementos lineales, generalmente mediante columnas y vigas. Combinadas con sistemas de arriostramiento, proporcionan una construcción muy estable tanto ante solicitaciones verticales como horizontales. En las construcciones así diseñadas, los elementos estructurales de carga constituyen un sistema diferenciado de los que hacen las funciones de cerramiento exterior y partición interior, sin funciones sustentantes. Aunque la estructura puede funcionar exteriormente al edificio, lo normal es que se disponga por su interior para evitar puentes térmicos. Las vigas pueden ser elementos aislados situados entre pilares de la altura total del edificio, o elementos continuos apoyados sobre pilares de un piso de altura.

Los arriostramientos pueden estar colocados horizontalmente dentro de la formación del forjado, o verticalmente en la de los muros. Consisten en atados en diagonal, macizados de vanos estructurales, uso de nudos rígidos, o atado del entramado a un núcleo de gran rigidez. La elección de uno u otro sistema influye en la flexibilidad del espacio interior resultante y la mayor o menor libertad en el plano de fachada. Así mismo, la elección de los sistemas de conexión entre sí de los elementos estructurales y con sus arriostramientos es decisivo en la apariencia del sistema de esqueleto.

Los materiales más utilizados en los sistemas estructurales lineales de esqueleto son el acero y la madera.

4.2.1. Esqueletos metálicos.

Forman un entramado de elementos esbeltos de mínimo peso, gran estabilidad y grandes luces entre columnas. Se utilizan todo tipo de perfiles laminados en caliente o conformados en frío, en uniones soldadas (automatizadas en taller, a manual en obra más laboriosa) o atornilladas (de gran rapidez de montaje, y desmontables). Las uniones atornilladas de perfiles laminados exigen la preparación en taller de placas de conexión soldadas a los perfiles (en las testas, o perpendiculares a las alas o almas) que permitan la colocación de los tornillos de unión fácilmente en obra. Las uniones de perfiles conformados en frío, de pequeños espesores, permiten el uso de tornillos autotaladrantes de rosca chapa, de gran eficacia y rapidez. El remachado en obra es una técnica en franco desuso por su manualidad intensa y antieconómica.

Los arriostramientos mediante conexiones diagonales entre los nudos: Si se diseñan para trabajar a compresión y a tracción indistintamente, se suele recurrir a perfiles de ala ancha (HEA, HEB) o tubulares, soldados o atornillados mediante una placa de conexión a dos nudos opuestos en el plano vertical y/u horizontal. Si se dimensionan para trabajar únicamente a tracción, se realizan mediante perfiles de pequeña sección (Pletinas, L, U …) soldados o atornillados igualmente. También se suelen usar tensores de redondo macizo o cable de acero en los planos de pared o forjado.

Los nudos rígidos se consiguen independizando la unión de la viga con la columna pasante (o viceversa) mediante unos enanos soldados rígidamente en taller y reforzados con palastros de rigidización e incluso cartelas, para obtener la deseada rigidez del elemento.

El arriostramiento mediante macizado de vanos se obtiene mediante paneles prefabricados de hormigón o de paneles de chapa de acero macizo, atornillados dentro del vano formado por pilares y vigas.

Los forjados intermedios se suelen conformar, de más a menos ligeros:

- Tableros contrachapados (o de virutas orientadas OSB), sándwiches de tableros con núcleo de aislamiento o placas de chapa grecada apoyados sobre viguetas metálicas, para solados o cubiertas ligeros.
- Encofrados perdidos (de chapa colaborante o de tableros de madera) con losa de hormigón de pequeño espesor, también sobre viguetas, para solados pesados.
- Losas de hormigón prefabricadas, apoyadas sobre las vigas

Elementos compuestos muy típicos en sistemas de esqueletos de acero son las vigas de alma aligerada y las cerchas, que permiten salvar grandes luces.

Por último, existen también los sistemas de estructuras espaciales formados por montantes tubulares con nudos en forma de bola de hasta 18 posiciones de conexión (tipo MERO) muy adecuados para cubiertas ligeras de grandes luces.

Yacht House.

Horden + Horden Cherry Lee Architects.

Casa ampliable de 1983. Utiliza estructura metálica transferida de la tecnología náutica: aluminio a compresión y cables de acero a tracción.

Figura 13

Figura 13. Proceso constructivo. Autores

Figura 14

Figura 14. Proceso constructivo. Autores

Figura 15

Figura 15. Detalle del nudo. Ken Kirkwood

Figura 16

Figura 16. Exterior. Ken Kirkwood

Almere House

Bethem Crouwel Architects

Proyectada y construida para un concurso en 1984 que proponía construcciones removibles. Una estructura triangulada une el forjado inferior con la cimentación y una doble estructura de cerchas metálicas se coloca en la cubierta. Esta se apoyan sobre aletas de vidrio perimetrales, perpendiculares a fachada. Ambas estructuras, inferior y superior, se unen por dos cables tensados, para evitar tracciones al vidrio.

Figura 17

Figura 17. Esquema estructural. Autores

Figura 18

Figura 18. Vista desde el interior. Autores

Figura 19

Figura 19. Vista exterior. Autores

Figura 20

Figura 20. Vista exterior. Autores

4.2.2. Esqueletos de Madera

Análogos a las estructuras de esqueleto de acero, compuestos de vigas y columnas de madera, y con similares sistemas de arriostramiento (excepto el nudo rígido). Los elementos usados son usualmente escuadrías de madera maciza, usualmente divididas en tres calidades en función de sus características en cuanto a capacidad resistente, defectos naturales y espesores de los anillos de crecimiento anual. También es usual las escuadrías de madera laminada (tricapa o multicapa laminadas juntas bajo presión, de tal forma que las fibras sean paralelas) con una mayor resistencia y estabilidad, al proceder de maderas seleccionadas sin defectos.

Elementos compuestos desarrollados últimamente, son vigas conformadas por dos alas (superior e inferior) de madera muy resistente (incluso laminada) unidas entre sí por un alma de tablero de virutas o de OSB. Aunque tienen un canto superior, poseen una resistencia mayor a flexión.

Las uniones entestadas se realizan mediante placas de acero (que pueden ocultarse interiormente en ranuras efectuadas en la madera) fijadas con tornillos pasantes, tirafondos o espigas de acero incrustadas a presión. También se utilizan en las uniones embrochaladas ángulos o escuadras de chapa plegada de acero atornilladas (que quedan vistas en la unión). Otro sistema de empalme de piezas de la misma sección son las placas con clavos soldados perpendicularmente a ellas, y las placas punzonadas de tal forma que el propio material forma “clavos” perpendiculares a ellas.

La unión entre pilares y cimentación se suele realizar mediante bases de soporte diseñadas para separar el pilar de posibles humedades.

Las disposiciones constructivas más usuales en los sistemas de esqueleto de madera son las siguientes:

- Poste y viga: columnas de la altura del edificio a las que se entestan las vigas por sus cuatro lados.
- Viga y columna: el pilar tiene la altura de cada planta y la viga se apoya sobre él, pudiendo ser en continuidad.
- Columna y doble viga: 2 vigas se fijan paralelamente a ambos lados de la columna mediante tornillos pasantes, espigas de acero o perfiles de acero atornillados a ellas
- Doble columna y viga: el pilar es doble, abrazando la viga (que puede ser continua). Es necesario proveer un apoyo resistente de madera entre ambas columnas, bajo la viga.

En todos ellos lo usual es que el forjado se forme mediante entablados de madera o tableros contrachapados, de OSB, o sándwich sobre viguetas de madera. También se usan tableros de maderas laminadas que permiten mayores luces con gran rapidez de colocación.

Existen también el equivalente en madera de los sistemas de estructuras espaciales formados por montantes con nudos en forma de bola de hasta 18 posiciones de conexión (tipo MERO). En este caso los tubulares de acero se sustituyen por tornapuntas de madera laminada terminadas en elementos de conexión metálicos que son los que se atornillan en los nudos.

El arriostramiento de la estructura se suele realizar mediante:

- Macizando vanos mediante paneles de madera o metal, que pueden ser superpuestos por el interior y el exterior. Es muy usual la utilización de tableros contrachapados o de OSB por su resistencia en las dos direcciones del plano y su sencillez de fijación mediante tornillos o clavos.
- Jabalcones en las uniones viga pilar mediante puntales de madera que rigidizan el nudo y además cortan la luz de pandeo .
- Diagonales de madera maciza formando cruces de san Andrés en los vanos estructurales.
- Tensores diagonales en los vanos, de redondo o cables de acero. Se deben unir a la madera mediante placas de anclaje de acero, convenientemente fijadas al nudo mediante tornillos pasantes o espigas de acero.

Uno de los primeros sistemas de industrialización de viviendas surge en EEUU a mitad del siglo XIX, ayudado por el desarrollo de la producción en masa de clavos: la construcción en armazón ("frame") o costillas de madera. Es un sistema de construcción mediante puntales de madera de pequeña sección situados relativamente próximos unos a otros (40-60cm) que resuelven tanto los muros sustentantes como los forjados, y que van simplemente clavados entre sí, ya que los esfuerzos que soporta cada unión es pequeño individualmente al repartirse estos entre un gran número de ellas . Debido a la escasa sección de los montantes y su pequeña capacidad resistente, las cargas se deben transmitir directa y verticalmente desde cada vigueta horizontal al montante inferior y así sucesivamente hasta llegar a la cimentación (No existen "vigas", sino "durmientes" . El arriostramiento se consigue clavando entablados o tableros contrachapados y de fibras) en la dirección perpendicular de los largueros principales. Se subdivide según el tamaño de los montantes en:

- Ballon Frame: Los montantes sustentantes verticales tienen la altura de la edificación y las viguetas se abrochan a ellos por su lateral. Se refuerza el apoyo mediante una costilla perpendicular a ellas, clavada a los montantes, ya que la transmisión de cargas es excéntrica.

- Platform Frame: Los montantes tiene la altura de un piso, se rematan superiormente por un durmiente que une sus cabezas, y sobre el apoyan las viguetas cada una situada sobre la vertical del montante inferior. Un nuevo durmiente se coloca sobre las viguetas solidarizándolas y los montantes superiores se colocan sobre la vertical de cada vigueta. Se consigue así una transmisión vertical del peso a través de todos los elementos.

-

Muji House

Muji /NET Muji Housing Division

Muji comercializa en Japón una línea de casas prefabricadas que desarrolla desde 2004. Casas rectangulares que siguen un sistema de modelos con el mismo programa y diferentes tamaños. Una distribución eficaz (en dos plantas y con una doble altura en U hacia una única fachada abierta) permite que todos los modelos sigan este código y varíen ambas medidas del rectángulo para ser adaptables. Su estructura es de esqueleto de madera.

Figura 21

Figura 21. Posibilidades de variación. Muji.net.co

Figura 22

Figura 22. Exterior. Muji.net.co

Figura 23

Figura 23. Vista interior. Muji.net.co

Figura 24

Figura 24.Detalle de encuentro. Muji.net.co

Wikihouse.

Wikihouse es un set de construcción de licencia abierta (*open source*) en el que cualquiera puede diseñar, descargar e imprimirse los componentes de una casa y ensamblarla uno mismo. Utiliza tecnología CNC, licencia abierta (*Creative Commons* CC) y materiales sencillos y reciclables. El material más usual es madera contrachapada en tableros de medida standard (244x 122), su estructura es a base de costillas cerradas y sistemas atornillados.

Figura 25	**Figura 26**
Figura 27	**Figura 28**

Figuras 25-28. Instrucciones de montaje. Wikihouse.cc

Figura 29	**Figura 30**
Figura 31	**Figura 32**

Figuras 29-32. Instrucciones de montaje. Wikihouse.cc

Figura 33

Figura 33. Vista axonométrica. Wikihouse.cc

Figura 34

Figura 34. Vista exterior. Wikihouse.cc

4.3. PANELES

Estos sistemas estructurales se basan en paneles de muros y de forjados estructuralmente resistentes. Los paneles verticales sobre los que apoyan los paneles de forjado actúan como muros de carga, mientras que los transversales, que no los soportan, actúan de arriostramiento. Los materiales más usuales en este tipo de paneles ligeros son el acero y la madera. Pueden ser de pequeño tamaño (entre 60 y 120cm de anchura) de tamaño “habitación” (hasta 6m de luz y la altura de la misma) o de gran tamaño, apoyándose el forjado de forma continua sobre varios muros transversales paralelos.

Estos sistemas, basados en su ligereza estructural, permiten suministrar a la obra los paneles con un muy alto grado de terminación (hasta el 90%) pudiendo incluir desde taller todos los aislamientos, instalaciones y acabados, sin complicar su transporte y montaje. El ahorro de peso de estos sistemas frente a la construcción tradicional llega a ser de un 33% en las armazones de madera y

del 70% con las de acero, ligereza que repercute directamente en ahorros en el sistema de cimentación.

4.3.1. Paneles metálicos.

Se basan en el desarrollo industrializado del Platform Framing tradicional en madera: la colocación de unos montantes a una distancia de entre 40 y 60cm, unidos en sus extremos superior e inferior mediante otro perfil que los abraza, tanto en muros sustentantes, de arriostramiento y en losas de forjado. Utiliza perfiles de acero conformado en frío por su alta resistencia con un mínimo peso propio. Sus uniones son atornilladas o soldadas en taller. La estabilidad horizontal del panel así armado se consigue mediante cruces de san Andrés de fleje atornilladas a ambos lados del panel, o atornillando/soldando placas de chapa de acero revistiendo las caras del mismo. Las cavidades entre perfiles pueden incluir el aislamiento térmico y acústico, y para minimizar los puentes térmicos se puede añadir una capa más de aislamiento continuo. Precisan de acabados exteriores e interiores que se atornillan sobre ellos. El montaje en obra se consigue atornillando los paneles entre sí. Admiten un alto grado de terminación en taller, aunque también se pueden suministrar como armazones de acero para su acabado in situ.

CUATRO50 Las Navas

Núñez & Ribot Arquitectos.

Sistema de casas industrializadas por componentes planos en desarrollo desde 2007. El sistema es abierto y flexible, con piezas equivalentes, cuadradas y sus medios, permitiendo diferentes configuraciones de programa y acabados. La estructura es de paneles de acero galvanizado y combina la construcción off-site del casco con la construcción in-site de algunos revestimientos e interiores.

Figura 35

Figura 35. Montaje Forjado de P.Baja. Autores
Autores

Figura 36

Figura 36. Montaje Paneles estructurales.

Figura 37

Figura 37. Montaje de Acabados. Autores

Figura 38

Figura 38. Vista Exterior. Migel de Guzmán

Museo Tomihiro.

Aat + Makoto Yokomizo

Construido en 2005 este museo organiza todas sus salas con paredes estructurales y prefabricadas metálicas. Son paneles curvos modulados en franjas verticales de chapas de acero plegada e interconectados entre sí.

Figura 39

Figura 39. Esquema de Planta. Autores
Autores

Figura 40

Figura 40. Montaje Paneles estructurales.

Figura 41

Figura 41. Colocación de Paneles estructurales. Autores

Figura 42

Figura 40. Exterior. Christian Richters, Münster.

4.3.2. Paneles de madera.

Se distinguen dos sistemas principales: el armazón (Framework) de madera y los paneles de madera maciza.

Los paneles de armazón de madera, al igual que los paneles ligeros de acero, siguen los principios del Platform Framing tradicional modulándolo para la industrialización de paneles. Se basa en montantes de pequeña sección de madera (de 60x100 hasta 80x160mm) unidos entre sí por un durmiente superior e inferior, y dotados de estabilidad horizontal mediante tableros contrachapados o de OSB atornillados a los montantes a ambos lados del panel , utilizando la cavidad entre montantes para el rellenos aislante. Precisan de acabados exteriores e interiores que se atornillan sobre ellos. Las uniones resistentes entre paneles se consiguen con elementos de acero atornillados a ambos paneles. A su vez, estos paneles admiten un alto grado de acabado en taller.

Los paneles de madera maciza se han desarrollado últimamente gracias a la aparición de máquinas de corte robotizado CNC. Se basan en paneles de madera laminada o de virutas procesadas de gran formato, que se recortan en taller (incluso las aberturas de puertas y ventanas) y se prefabrican con las canalizaciones para las instalaciones y las cavidades de las uniones. Aprovechan la capacidad aislante de la madera, pero necesitan de aislamientos extra y de material de acabado por el exterior (al interior se puede dejar el acabado del tablero visto).

REFUGIO ALPINO MONTE ROSA

ETH Zurich-Studio Monte rosa y Bearth & Deplazes Architekten.

Construido en condiciones extremas, este refugio que comenzó a desarrollarse en 2003 en la ETH de Zürich y se inauguró en 2009. Utiliza técnicas de producción computerizada con previsión de todos los ensambles, encuentros diagonales y tolerancias. Cada pieza se

transporta en helicóptero y es crucial el control del peso. Se construye a base de piezas relativamente pequeñas de madera (<650Kg) un material ligero e idóneo para fachadas con alta dilatación.

Figura 43

Figura 43. Transporte. Marcel Baumgartner.

Figura 44

Figura 44. Vista exterior. Tonatiuh Ambrosetti.

Figura 45

Figura 45. Montaje. Marcel Baumgartner.

Figura 46

Figura 46. Vista interior. Tonatiuh Ambrosetti.

SYSTEM 3

OSKAR LEO KAUFMANN + ALBERT RÜF / KFN SYSTEMS

MOMA Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling.

Proyecto para la exposición del MOMA de 2008, formado por bloques rectangulares que distinguen entre espacios infraestructurales (equipados) y espacios vacíos, un sistema bastante versátil que puede apilarse o ampliarse.

Se construye con paneles de madera precortada con tecnología CNC en ambas caras del sándwich, Se rellena con aislantes y barreras de vapor hasta 12cm de espesor. El proyecto, como los paneles, mide el máximo de un contenedor (2,88 x 11,64m) y llega a obra en camión, directamente para ensamblarse.

Figura 47

Figura 47. Maqueta. Autores.

Figura 48

Figura 48. Concepto. Autores.

Figura 49

Figura 49. Fabricación. Autores.

Figura 50

Figura 50. Vista exterior. Adolf Berenter

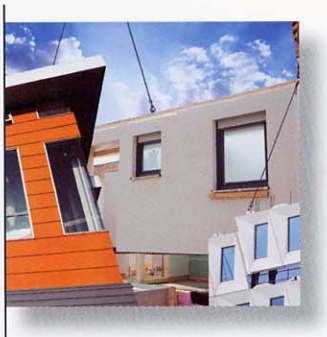
Madrid
Ahorra
con Energía

La Suma de Todos

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Guía sobre Construcción Industrializada de Viviendas Eficientes

Autores



Capítulo 1. **Estado del arte**
D. Ismael Miguel Prieto
Ayuntamiento de Alcorcón.
www.ayto-alcorcon.es

Capítulo 2. **Arquitectura modular**
Dª. María Alonso
A-cero TECH
www.a-cero.com

Capítulo 3. **Construcción industrializada ligera**
Dª. Almudena Ribot
D. Teodoro Nuñez
CUATRO50
www.cuatro50.com

Capítulo 4. **Construcción industrializada pesada**
D. Albert Espinalt Romero
COMPACT HABIT
www.compacthabit.com

Capítulo 5. **Las ventajas del catalogo para el fabricante y el usuario**
D. Guillermo Martínez
EuroBOX IDM
www.eurobox.es

D. José Miguel Reyes
Universidad Alfonso X el Sabio
www.tekhomes.blogspot.com

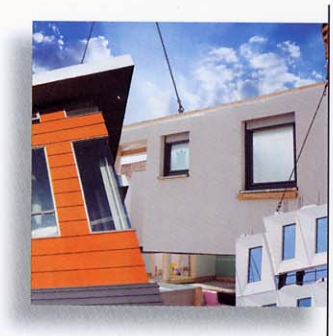
Capítulo 6. **Elementos industrializados 2D en madera**
D. Miguel Nevado
KLH
www.klh.es

Capítulo 7. **El programa de producción y la logística asociada**
D. Pablo Saiz
MODULAB
www.sistemamodulab.es

Capítulo 8. **Modelo de edificación sostenible ecoeficiente energéticamente**
D. Santiago Muelas
ABS
www.abs.es

Capítulo 9. **Aplicaciones representativas**
Ficha 1.- D. Javier García-Monsalve
A-cero TECH
www.a-cero.com

Ficha 2.- Dª. Almudena Ribot
D. Teodoro Nuñez
CUATRO50
www.cuatro50.com



Ficha 3.- Dª. Ingrid Bonells
D. Miguel Morte
COMPACT HABIT
www.compacthabit.com

Ficha 4.- D. Guillermo Martínez
EuroBOX IDM
www.eurobox.es

D. José Miguel Reyes
Universidad Alfonso X el Sabio
www.tekhomes.blogspot.com

Ficha 5.- D. Miguel Nevado
KLH
www.klh.es

Ficha 6.- D. Pablo Saiz
MODULAB
www.sistemamodulab.es

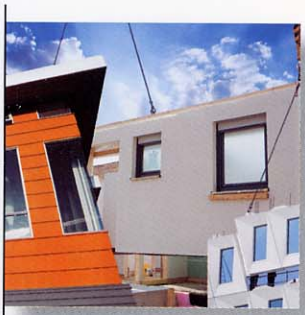
Ficha 7.- Dª. Rocío Reina
ABS
www.abs.es

Ficha 8.- D. Toni Montes
MODULTEC
www.modultec.es

Ficha 9.- D. Arturo Alarcón
PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN
www.ieca.es

Ficha 10.- Herreros Arquitectos
JUAN HERREROS ARQUITECTOS
www.herrerosarquitectos.com

3 CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA LIGERA



Dª. Almudena RIBOT
D. Teodoro NUÑEZ
CUATRO50
www.cuatro50.com

3.1. Aproximación

El modelo de la construcción tradicional de viviendas está hoy en decadencia. Los oficios ya no existen (o son muy caros) y la mano de obra especializada ha sido sustituida por personal sin especialización.

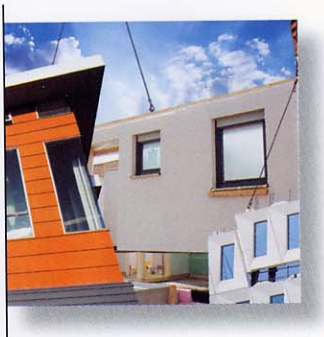
Por el contrario, la sociedad demanda a los edificios una creciente sostenibilidad y confort que implican una creciente complejidad de las soluciones constructivas aplicadas y de mayor calidad en su ejecución.

En este punto del debate de la arquitectura, los sistemas industrializados cobran cada día una mayor relevancia. Lamentablemente la palabra «industrialización» automáticamente suele asociarse con los Sistemas Cerrados (Sistemas de Modelos) que originan productos homogéneos estandarizados, de una calidad media y con una reducción en los costos de producción. Modelos que dieron lugar a los innumerables edificios de viviendas impersonales de Europa del Este en la posguerra, nadie quiere repetirlos. Hoy está claro que estos no significan la única forma de industrialización posible.

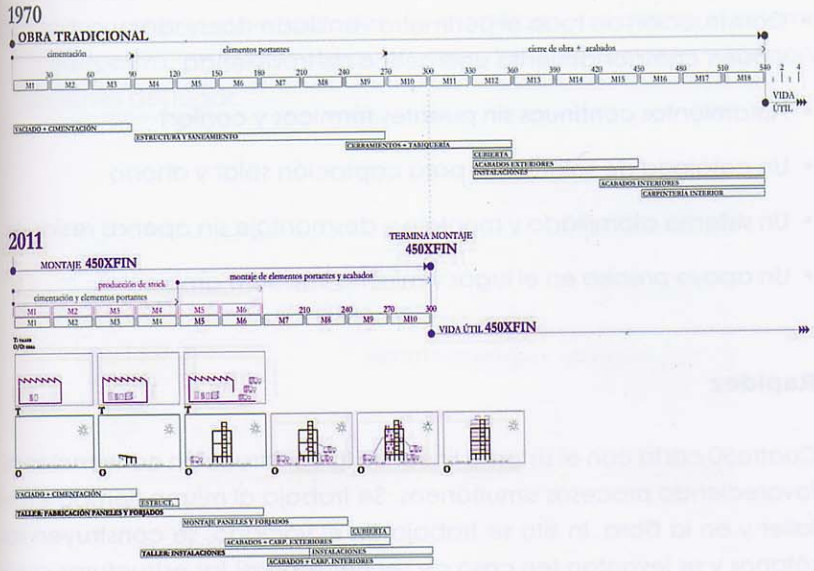
Al igual que en la industria del automóvil o de la aviación se ha sustituido la cadena de montaje completa y cerrada de Henry Ford por el montaje de componentes de diversos suministradores, los Sistemas Industrializados Abiertos son una estrategia efectiva para responder a las necesidades contemporáneas de sostenibilidad y confort de buen uso, capaces de adaptarse a cualquier arquitectura rigurosa.

Desde esta perspectiva, la arquitectura ya no debe someterse a Sistemas Cerrados, sino aprovechar las ventajas de utilizar los procesos de

FICHA 2



D.ª Almudena RIBOT
D. Teodoro NÚÑEZ
CUATRO50
www.cuatro50.com

1. Definición

Cuatro50 es un sistema de construcción industrializada que ofrece al usuario un producto sistemático y con posibilidades de personalizar la distribución y los acabados. Un proyecto que apuesta por la industrialización sin mitificar los procedimientos, utiliza los recursos de la construcción off-site y a la vez las ventajas de los construido in site. Utiliza steel frame y construcción en seco y atornillada. Se apoya en unos paneles verticales y forjados industrializados, una construcción 2D que apuesta por transportes baratos y por no movilizar m³ vacíos. Para su especificación se utilizan catálogos comerciales combinados de tal manera que las soluciones son flexibles. Se propone la sencillez del sistema constructivo, la sistematización de todo el proceso, la ligereza en transportes y obra, la precisión y la simultaneidad durante la construcción.