

PROCESO CONTÍNUO DE INDUSTRIALIZACIÓN

JUAN ANTONIO GONZÁLEZ CÁRCELES

ANTECEDENTES, LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL, LAS CADENAS DE MONTAJE Y LA PREFABRICACIÓN PESADA

A principio del siglo pasado la revolución industrial iniciada en el Reino Unido a finales del siglo XVIII estaba consolidada en Francia, Alemania y Bélgica; en Estados Unidos Henry Ford había organizado en 1913 una "cadena de montaje" para su fábrica Ford Motor Company en Detroit, inspirada en los trabajos de los maderos de la ciudad. Ford había instalado cintas de ensamblaje móviles con el fin de mejorar la producción, lo que permitía a los trabajadores mantenerse en posiciones fijas repitiendo la misma operación sobre cada chasis de automóvil, que se desplazaba por unas guías mediante correas de transmisión. Esta combinación de división del trabajo con la realización de operaciones sencillas consecutivas -en serie- le llevó a un éxito espectacular en la producción de sus vehículos del modelo "T". Cada operario actuaba sobre una pequeña parte del conjunto y con una formación no demasiado cualificada conseguía mayor rendimiento y mejores tiempos de producción, había nacido el fordismo. Otro de los elementos de su éxito fue el sistema de piezas intercambiables, ya clásico por entonces en la industria de munición de armas y en la relojería, consiguiendo con la normalización de los elementos que se abaratará la producción y que también se facilitarían las reparaciones posteriores.

En aquellos años la industria no había apenas alterado la forma de construir edificios, anclada en métodos tradicionales, pero ya algunos arquitectos como Wright, Mies y Gropius manifestaban su preocupación por resolver esta discordancia. Le Corbusier trabajaba desde 1914 en la estructura Domino, pensando en la rápida reconstrucción de los edificios que habían sido devastados en Bélgica en pocos meses de guerra y en 1920 proyectaba la Maison Citrohan con modulación de todos sus elementos y concebida como un automóvil, mientras elogiaba la industria, el maquinismo y los métodos de montaje con cintas rodantes de Ford -L'Esprit Nouveau nº2, 1921-. Parecía que había llegado el momento en que la industria y sus métodos se incorporasen a la construcción, pero fue mucho más tarde, con la necesidad urgente de reconstrucción al final de la segunda guerra mundial, cuando empieza lo que más tarde se ha llamado la primera generación de la industrialización.

Conviene aclarar antes de seguir que puede existir cierta confusión con el uso habitual de los términos prefabricación, industrialización y normalización. Aunque prefabricación ha sido el más utilizado para referirse a los nuevos métodos constructivos, su empleo puede resultar confuso ya que de antiguo muchos elementos se fabricaban en lugares y por personas diferentes a las encargadas de la construcción; para el propósito de este análisis es más adecuado el uso de términos como industrialización o racionalización, ya que implican una revisión general de todo el proceso, incluyendo la prefabricación y la normalización de piezas como métodos de trabajo. Por el contrario si analizamos el escaso desarrollo de la prefabricación de grandes paneles en España, a menudo nos encontramos con un procedimiento alejado de lo que en rigor es un sistema industrializado ya que se utiliza principalmente en su vertiente de prefabricación a medida o por encargo, con un coste muy superior al de la construcción tradicional, algo claramente contradictorio con lo que se supone el objetivo primigenio de mejora de rendimientos de los procesos industriales.

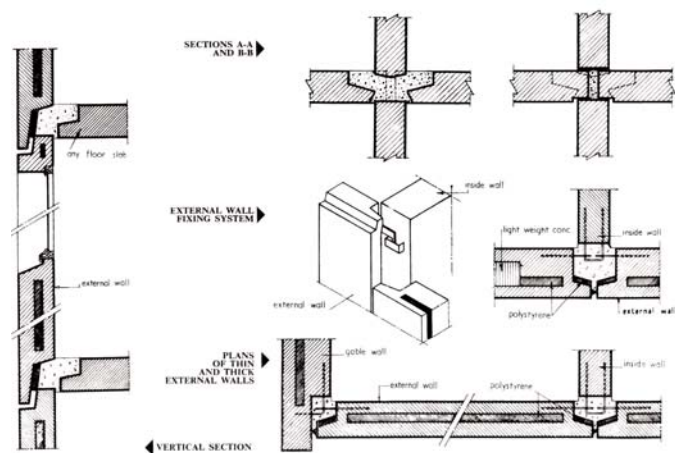
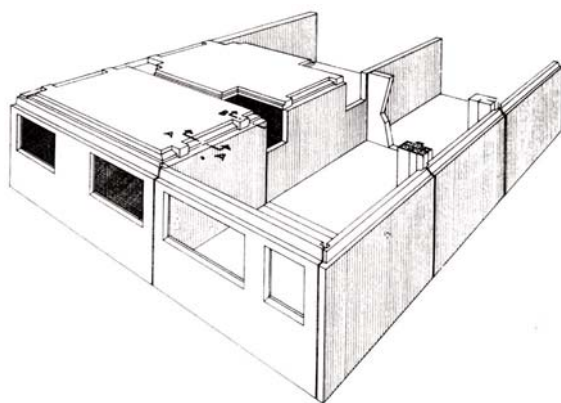
Desde los años 50 hasta finales de los 70 se realiza en Europa un enorme esfuerzo industrial en la construcción de viviendas, impulsado por la necesidad de recuperación rápida del enorme déficit y por la falta de mano de obra especializada; es el momento de la prefabricación pesada que tuvo que afrontar el montaje de unas fábricas inexistentes y resolver los problemas de su fabricación, transporte y colocación, con una organización muy específica y compleja, sobretodo por los tamaños y pesos manejados. Se ha discutido mucho sobre la economía del resultado, ya que a menudo no reportaba disminuciones en los costes, incluso en las obras de

Elementos de apoyo	Viviendas			Oficinas		
	Prefabricación	Encofrados metálicos	Tradicional	Prefabricación	Encofrados metálicos	Tradicional
Forjados	12 %	31 %	57 %	20 %	54 %	26 %
Fachadas	6 %	23 %	71 %	20 %	63 %	17 %
Techos	21 %	7 %	72 %	80 %	17 %	3 %
Cubiertas	12 %	31 %	57 %	no calculado		
Tabiques	0,1 %	0 %	99,9 %	no calculado		
Escaleras	33 %	0 %	67 %	21 %	35 %	44 %
Falsos techos	46 %	1 %	53 %	54 %	10 %	36 %
		no calculado		99,5 %	0 %	0,5 %

Incidencia de la prefabricación sobre una muestra sobre 1.200 obras iniciadas en Francia en 1973.
Fuente BERNARD, PAUL.
La Construcción por componentes compatibles.



Acopio a pié de obra de grandes paneles de la patente Tracoba, Francia



Detalles de unión del sistema Tracoba, Francia

mayor volumen; la relevancia del valor de la construcción respecto al precio final del producto ha sido el aspecto más importante, ya que el ahorro en la construcción era a veces un porcentaje muy reducido respecto al valor del producto final, en el que hay que considerar otros factores aparte del coste de construir; por eso en los países en los que el valor del suelo era mayor o era escaso, las ventajas económicas de la construcción industrializada disminuían.

También ha sido decisivo el coste de la mano de obra y la tasa de desempleo en cada nación, que ha retrasado enormemente el uso de métodos industriales en los países con exceso de mano de obra como España. Países como Francia, Gran Bretaña, Alemania e Italia fueron pioneros en la Europa occidental, siendo Francia, con 2 millones de viviendas destruidas y un déficit total de 4 millones, el principal protagonista de la reconstrucción y poniéndose a la cabeza de las naciones industrializadas; allí el Estado jugó un importante papel de impulsión, programación y control, procurando la centralización de medios, la participación activa de todos los interesados y orientando las decisiones sin espíritu intervencionista.

El periodo entre 1960 y 1970 es el momento de los grandes paneles prefabricados, bien planos o en módulos tridimensionales, con una tecnología que se caracterizaba por el uso de tipos estructurales "cerrados" basada en el empleo de elementos procedentes de una única patente y que dejaban la obra terminada al unir los elementos "in situ"; los elementos no eran compatibles con otros ajenos al propio "sistema", y tampoco lo necesitaban, ya que sólo tenía que mantenerse la coordinación entre el diseño del proyecto y el sistema utilizado. No se necesitaba modulación excepto en las partes que estaban en contacto con elementos extraños al sistema como las carpinterías y las instalaciones. Debido a la singularidad de cada obra no existía stock de elementos en las fábricas, con la excepción de los de tipo polivalente; la responsabilidad del fabricante ante el promotor era total al encargarse de la fabricación, transporte, montaje y muchas veces de los acabados. Este tipo constructivo necesitaba unas series mínimas bastante altas para que la producción fuera posible en términos económicos, lo que motivó que su mayor desarrollo se diera en lugares con planificación centralizada propia de los países socialistas.

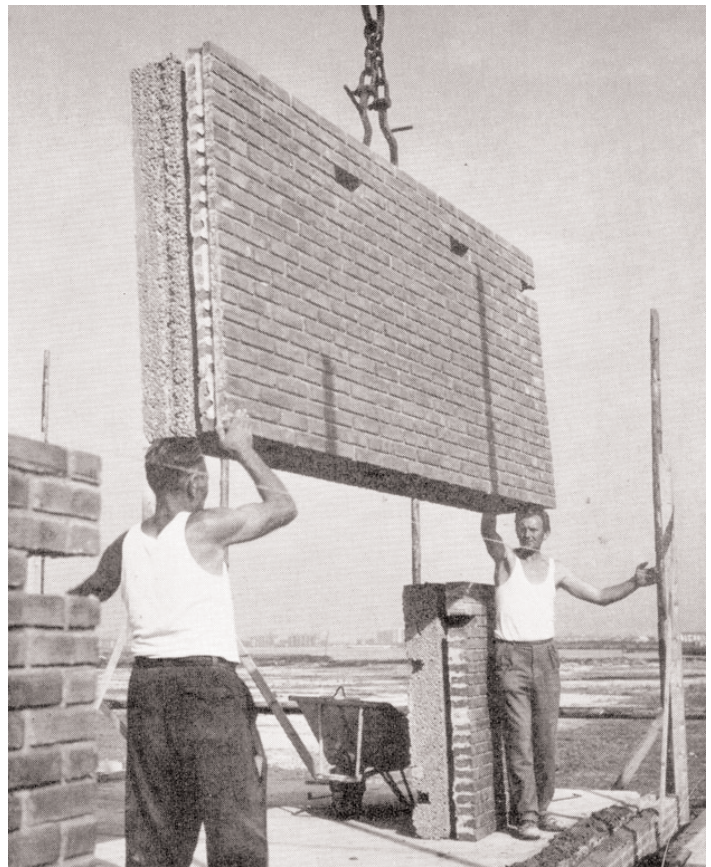
Señala acertadamente Julián Salas¹ que el gran panel es el logotipo de la primera generación de la industrialización. Los sistemas de grandes paneles han creado unos productos muy heterogéneos con gran variedad de formas y tamaños; los fabricados para paredes tienen una altura igual a la de entresijos y una longitud del tamaño típico de una habitación o incluso mayor, con pesos entre los 30 y los 70kN. Los paneles para muros exteriores son a menudo estructurales y agrupan funciones de aislamiento y acabado dejando previstos los huecos de puertas y ventanas. Muchos paneles son de una sola capa como los de los sistemas alemanes Lenz-Seibert, Fertigbau Bochum y Jawick Massivfertighaus que tienen una capa de hormigón aligerado; los de Siporex, Hebel y Kellerbau-NOE llevan además recubrimiento exterior de fibra de vidrio y empapelado directo interior; pero los sistemas de más calidad son de varias capas, dos de hormigón en los bordes y una de aislamiento en el centro, como los sistemas franceses de Balency, Baretts, Camus, Coignet, Estiot, Pascal y Tracoba, y los alemanes de B.N., Dessler, Dobler-Koncz, Wolf-Müller y Larsen Nielsen, este último de patente danesa.

Como variante del gran panel de hormigón multicapa se ha usado en la Francia mediterránea el panel compuesto con la unión de capas previamente acabadas, terminado con paneles de piezas cerámicas; las patentes principales son Fiorio (más de 100.000 viviendas hasta 1968) y Costamagna (70.000 viviendas hasta 1970), construyendo más de 3 millones de m² anuales.

Las divisiones interiores, más sencillas de fabricar por sus menores requerimientos de aislamiento, son casi siempre de hormigón armado cuando tienen función estructural y se fabrican con hormigón aligerado, escayola o yeso en el resto de casos.

Las losas de forjado se fabricaban habitualmente con elementos macizos de hasta 15cm de espesor, o alige-

¹ Julián Salas, *Arquitectura e Industria*, 1991



Colocación de panel de varias capas con la exterior formada con piezas cerámicas, patente BMB.



Exposición Universal de Montreal, Habitat 67

rados por alvéolos continuos, a menudo cilíndricos por su mayor facilidad de fabricación continua por extrusión; es frecuente que tengan el tamaño de una habitación y a veces se completaban con el hormigonado en obra de la capa superior y de las juntas. Las escaleras se prefabricaban en hormigón armado y se colocaban lo antes posible para permitir el acceso a las plantas. También se prefabricaban otros elementos complementarios como los bloques técnicos y los conductos de ventilación.

Los sistemas de grandes paneles son sistemas completos que resuelven generalmente muros exteriores e interiores, forjados, escaleras e incluso dejan previstas las canalizaciones para las instalaciones o las dejan totalmente terminadas dentro del panel.

Ordenados alfabéticamente algunos de los sistemas más usados en Francia han sido el de Baretts (mas de 25.000 viviendas hasta 1964), Camus (mas de 180.000 viviendas hasta 1970), Jules Cauvet (25.000 viviendas hasta 1968), Cebus-Bory (18.000 viviendas hasta 1968), Coignet (40.000 viviendas hasta 1969), Estiot (mas de 20.000 viviendas en Francia y otras 35.000 en otros países), Pascal (24.000 viviendas hasta 1968), Predibéton, Pris Ones, Renais de Préfabrication, Stribick y Tracoba (mas de 10.000 viviendas); en Alemania B.N., Dessler, Dobler-Koncz, Eiermann-Atrium-Hausgruppen, Grünen & Bilfinger, Grötz, Larsen-Nielsen (67.000 viviendas hasta 1969) y Wolf-Müller; en Holanda el sistema BMB con piezas cerámicas en la placa exterior, Elementum-Len con el que se han construido mas de 40.000 viviendas entre el propio país y los países escandinavos y VAM (6.600 viviendas hasta 1968).

Una variante a la solución con grandes paneles ha sido la construcción con encofrados racionalizados hormigonados "in situ" que también acometen la construcción de todos los elementos; en Francia destacan las patentes L. Foulquier, G.T.E. y Sectra (11.000 viviendas hasta 1969); en Alemania Allzweck-Fertigbau y Kellerbau-NOE y en Holanda RBM (19.000 viviendas hasta 1968).

En resumen, el total de viviendas realizadas con grandes paneles en Europa occidental fue de algo más de un millón de viviendas hasta 1968, de las que 530.000 lo fueron en Francia, 41.000 en Alemania y 9.000 en Holanda. Las cifras han seguido aumentando posteriormente ya que el informe N. Rozanov ante la Comisión W19 del C.I.B calculó la producción entre 1967 y 1970 en Francia en unas 135.000 viviendas/año y en Holanda en 11.000 viviendas/año.

Otras soluciones con paneles de menor tamaño, los llamados paneles medianos, tuvieron mucho menor uso en esta etapa, al igual que la prefabricación de elementos lineales, sin embargo en el campo de los sistemas abiertos los paneles medianos tuvieron posteriormente un empleo mucho mayor.

El uso de los módulos tridimensionales comenzó con los bloques sanitarios y fue mayor en la URSS y en Polonia, utilizándose a finales de los sesenta en Europa. Su utilización era lógica a la vista de las cifras de rendimiento obtenidas en la URSS sobre el número de viviendas construidas por obrero y año: 0,9 con construcción tradicional, 1,6 con grandes paneles prefabricados y 2,6 con módulos tridimensionales.

En los tres países estudiados las patentes mas utilizadas fueron la holandesa Bouwvliet (1967), con concesiones en Francia y Alemania, que fabricaba cajones abiertos de 2,8x5x0,8m para adosar en obra, la francesa Sigma con piezas de 5,56x2,7x2,5m y representación en toda Europa, la suiza Variel con piezas de 2,8x9,6x3,67 y concesiones en Francia (1965), Alemania (1960) y Holanda (1964) y la francesa Combos con elementos semipesados que se atornillaban en obra y tenía las instalaciones incorporadas. Los pesos de los elementos de este tipo de prefabricación son muy importantes para su transporte y para la colocación y varían desde los 6kN/m² a más de 10kN/m² en los sistemas pesados, necesitando grúas de hasta 350kN. La construcción más emblemática fue la de Habitat 67 en la Exposición Universal de Montreal.

Los aspectos mas desfavorables que se han atribuido a esta primera etapa industrial han sido la masificación, obligada por la necesidad de amortizar la producción, la rigidez de las plantas y la mala resolución de algu-



La Grande Borne, Grigny proyecto de Emile Aillaud, fotos de mayo de 1973



Abuso de la tipología de bloques lineales en Argenteuil y Sarcelles, Francia

nos aspectos técnicos y funcionales. Julián Salas² señala la paradigmática respuesta recibida por Lucien Kroll en los años 60 de un importante industrial francés a las críticas de puentes térmicos, eflorescencias y monotonía en sus productos "vendo demasiado, no tengo tiempo para mejorar..." -Lucien Kroll, *Compo-sants: faut-il industrialiser l'architecture?*, 1987-.

Con estos sistemas se construyeron miles de viviendas con pocas variaciones, abusando de las tipologías de bloques lineales y con una rígida distribución de tabiquerías de hormi-gón. La industrialización limitaba el diseño arquitectónico con una tecnología utilizada sólo por rapidez y economía y con poco margen de modificaciones. Por otro lado la limitación económica al transporte de los pesados elementos prefabricados a distancias superiores a unas decenas de kilómetros condujo a una segmentación territorial en la que las diferentes marcas protegían sus territorios, proliferando numerosos procedimientos que buscaban su rentabilidad con la repetición máxima de sus soluciones³.

También hubo algunos intentos interesantes de sacar todas las ventajas posibles al sistema, el arquitecto Emile Aillaud construyó 3.685 viviendas HLM en La Grande Borne, Grigny, al sur de París, entre 1964 y 1971, con encofrados túnel y paneles cerámicos y un cuidadoso diseño, dedicando la disminución del precio de la construcción a la jardinería y el paisajismo.

Sin embargo esta primera etapa de prefabricación no daba más de sí y las administraciones empezaron a apoyar otras soluciones industriales con mayor calidad, tanto técnica como compositiva. Desde la propia administración se criticaron los modelos "gigantistas" de grandes bloques lineales uniformes o altas torres -denotadas como barra torre-, al mismo tiempo la vivienda individual fue ganando terreno poco a poco a la colectiva, preferida por los usuarios a pesar de no ser una tipología favorecida por la administración, ya entonces preocupada por la herencia que se dejaba a las siguientes generaciones ante su gran consumo de espacio y su poca sostenibilidad; la búsqueda de mayor confort y la influencia de asociaciones defensoras de la calidad ayudaron a conseguir mejoras técnicas y funcionales: aislamiento térmico y acústico, flexibilidad del espacio, cuidado en la inserción en el entorno y mayor respeto por el paisaje, también en ese sentido colaboró el aumento de la toma de conciencia regional y local y lentamente el mercado se fue modificando.

En la transformación coexisten entrelazadas varias tendencias y que han sido señaladas por Gérard Blanchère⁴: los sistemas abiertos a la colaboración entre distintos fabricantes, el empleo parcial de componentes, el uso casi exclusivo de componentes con prefabricación a medida y los sistemas de tipo mecano, todos están relacionados con una colaboración más abierta entre proyectistas, promotores, constructores y fabricantes, para lo que era fundamental abordar previamente el tema de la coordinación dimensional.

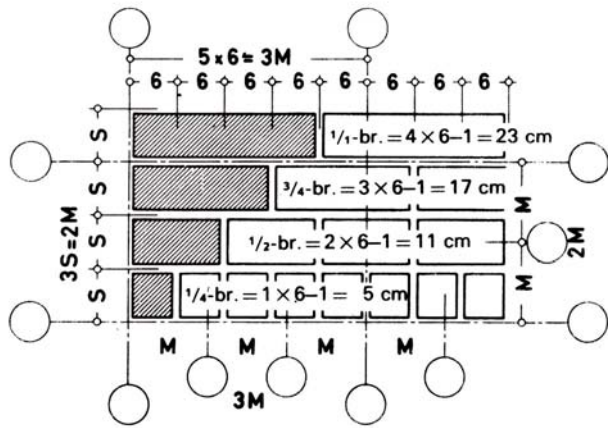
LA COORDINACIÓN DIMENSIONAL

La coordinación dimensional ha sido necesaria para establecer un lenguaje común entre los diferentes agentes intervinientes. Permite establecer una normalización de los tamaños de cada producto y que el diseñador tenga unas reglas previas para su integración en el proyecto, al mismo tiempo que permite la colaboración de fabricantes especializados en determinados elementos, favorece el intercambio internacional y facilita el montaje por otras empresas. En la construcción su arranque ha sido muy lento pero no hay duda de su interés a la vista del aumento de la producción y uso de elementos normalizados.

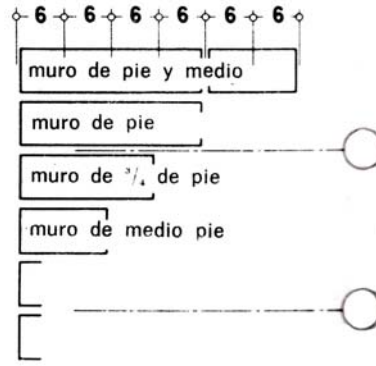
La dificultad de su empleo estriba en un problema muy sencillo: los proyectistas no pueden ni quieren utilizar componentes modularles inexistentes y adaptan sus proyectos a los que ya existen en el mercado y los fabricantes sólo producen lo que tiene suficiente demanda. La legislación danesa consiguió romper este círculo vicioso en 1966 obligando a diseñar las viviendas de alquiler con los principios modulares de las Normas

³ Paul Bernard, *La construction par composants compatibles*, 1982

⁴ Gérard Blanchère, *Technologies de la construction industrialisée*, 1975

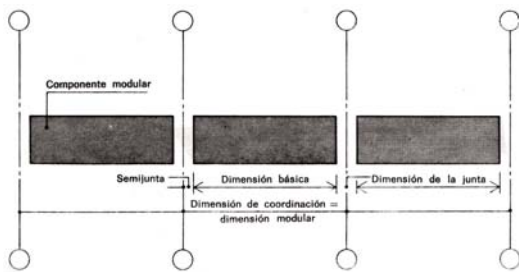


Dimensiones del aparejo

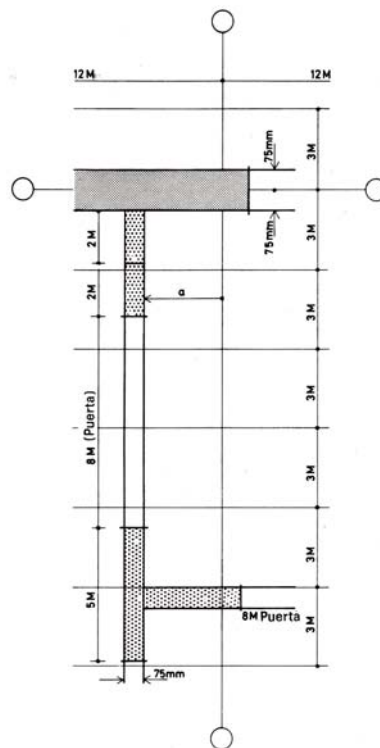
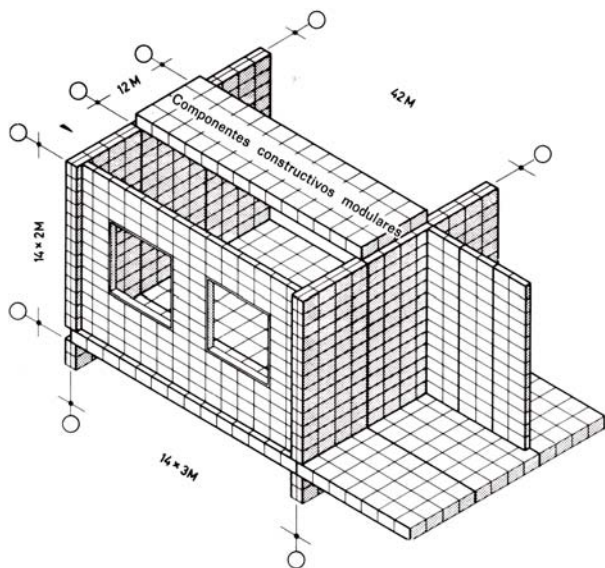
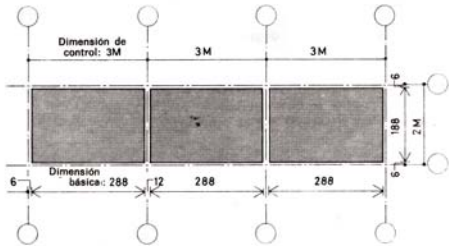


Espesores de muro

Dimensiones redondeadas en cm, de acuerdo con la DS 1048



COMPONENTES MODULARES



Dimensiones para albañilería según DS 1048, componentes modulares y bloques constructivos, esquemas de modulación en planta y en malla modular espacial. Fuente NISSEN, HENRIK. Construcción industrializada y diseño modular

danesas. En 1960 el Código Nacional de Edificación de Dinamarca había incluido disposiciones para fomentar en los edificios de viviendas en alquiler "patrones dimensionales que estimulen el empleo de componentes constructivos, instalaciones y accesorios normalizados". Las Ordenanzas danesas de edificación fueron pioneras en la normalización de medidas, en agosto de 1966 establecían que "Las viviendas construidas para alquiler se diseñarán de acuerdo con las Normas de Modulación de la Edificación DS 1011.1 (Módulo básico) y DS 1011.2 (Multimódulos)". De esta forma ayudaban a la fabricación del mayor número posible de componentes normalizados, y aunque no obligaban a su utilización tuvo un indudable éxito en el desarrollo de los componentes.

El Módulo básico M se estableció en 100mm, está no fue una decisión fácil ya que existían varias alternativas como el módulo usado en EE.UU de 4" -101,6mm- o el octámetro OM de Alemania de 125mm defendido por Neufert -coexistiendo con el de 100mm para instalaciones y accesorios-. Mas tarde, en 1971, el Comité Alemán de Normas presentó una nueva norma modular DIN 1800 con el módulo 3M igual a 300mm. En Dinamarca se usaba el módulo de 120mm como dimensión de coordinación de la albañilería desde 1896; pero se cambió para darle un carácter internacional; junto con el Módulo básico también existen los submódulos para elementos pequeños de M/2 M/4 y M/5 y los módulos de diseño para piezas grandes.

Las definiciones siguientes explican de forma resumida los distintos conceptos, que han sido comúnmente aceptados por las normalizaciones posteriores de diferentes países:

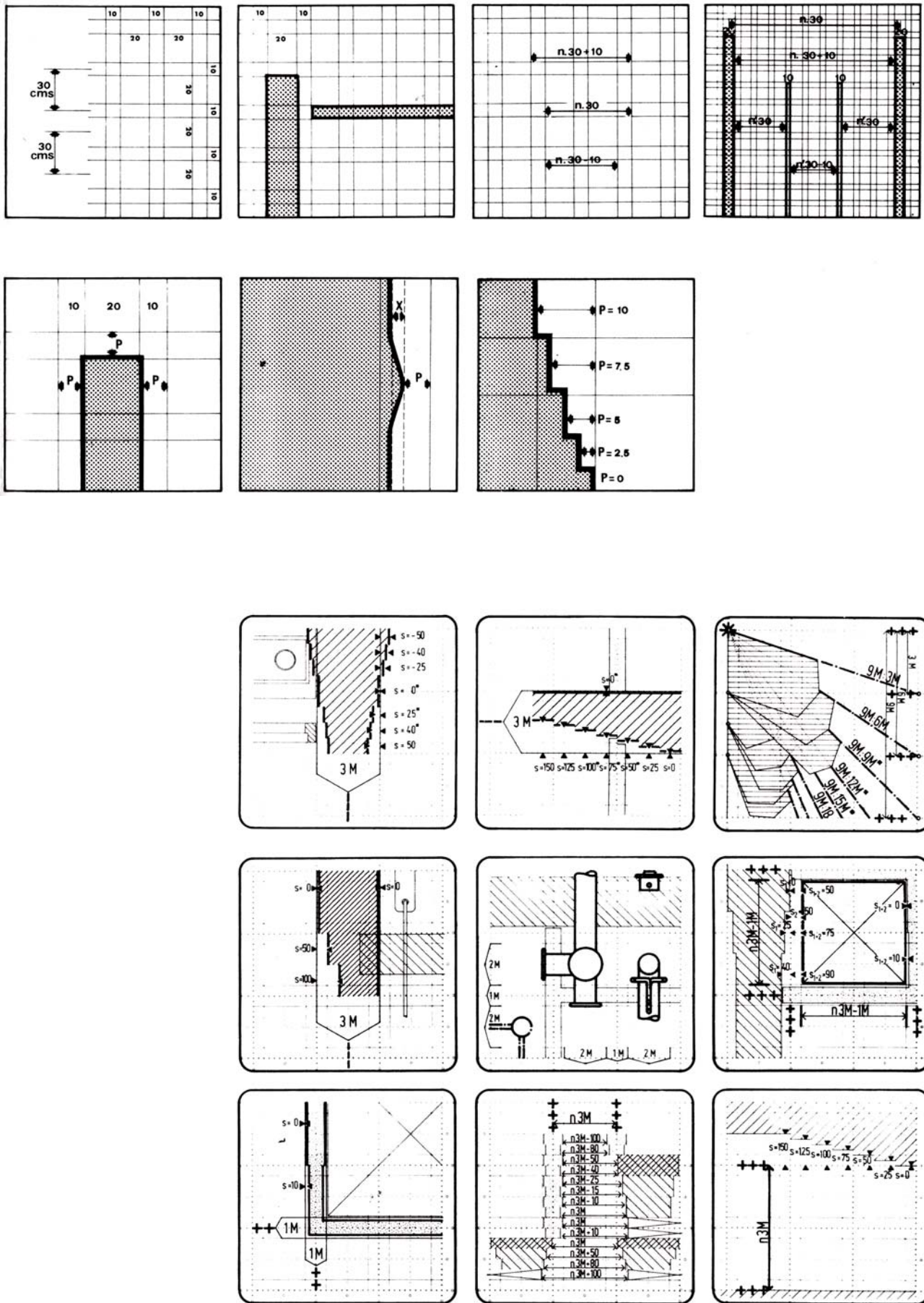
Dimensiones modulares de coordinación. Se usan para establecer el espacio previsto para ubicar un componente y la unión con otros. Acumulando la dimensión básica del elemento con la junta entre elementos se obtiene la dimensión de coordinación.

Módulos de diseño. Tienen que ser múltiplos del módulo básico M y se usan para el diseño del armazón (estructuras y cerramiento), mientras que el módulo básico se usa para el diseño de los interiores, de lo que se llama el "edificio acabado". En viviendas se usa 3M como dimensión horizontal y 2M para la vertical. Se acoplan a las dimensiones de coordinación de la albañilería y para dimensionar forjados, muros, escaleras y ventanas. La mayoría de países de Europa, incluso los Escandinavos, usan el módulo 3M. Como excepción Alemania quedó fuera del patrón ya que el módulo para viviendas del Wohnungsbaugesellschaft "Woba" es de 625mm que no armoniza con el sistema modular internacional.

Multimódulos preferentes. Se usan para limitar las variantes en tamaños grandes, por ejemplo en forjados se podrían tener anchuras de 6M, 9M, 12M y 15M y longitudes de 24M, 27M, 30M y 48M, todos múltiplos de 3M, pero de esta manera podrían existir 36 componentes diferentes, demasiados para una producción industrial racionalizada. La recomendación DS/R 1038 establece, según los pesos, los valores recomendados para los componentes aligerados del forjado. Por ejemplo la compañía Hojgaard & Schultz selecciona una anchura de 12M con longitudes entre 18M y 54M en intervalos de 3M; bajo peso tiene anchuras de 6M y 15M mas caras, ya que se realizan con moldeo y transporte como en un taller artesanal mecanizado. Las dimensiones de puertas según DS 1028 tienen una anchura de 7M, 8M, 9M y 10M y los componentes de cocina tienen una anchura de 4M y 6M.

En las normas hay reglas de colocación de componentes utilizando los módulos de diseño; también se considera el hecho de que las condiciones técnicas de las juntas pueden obligar a desplazamientos en relación a las líneas modulares por lo que se aconseja dibujar los esquemas de colocación y tener unos detalles modulares para adaptarse correctamente. Las reglas de colocación permiten adaptarse con cualquier solución constructiva. Lo mismo sucede para la colocación vertical de los revestimientos de suelo; en los casos en que hay dificultad para cumplir las alturas mínimas de las normas existe una posible dispensa del Ministerio de la Vivienda Danés de hasta 20mm con respecto a la altura suelo techo.

Una vez determinado el módulo, el módulo de diseño y los multimódulos preferentes las posibilidades de trabajo son dos: diseñar sobre una malla modular o diseñar con elementos modulares, para lo que es suficiente utilizar elementos modulados de un catálogo. Los sistemas no son excluyentes y pueden coexistir lo que favorece su implantación y por tanto el desarrollo industrial.



Arriba las siete reglas básicas de SAR y abajo las nueve reglas de NEN 2883. Fuente SALAS, JULIÁN. Alojamiento y tecnología ¿Industrialización abierta?

La malla modular se usa principalmente para el diseño de la estructura, los elementos modulares se colocan con los bordes coincidiendo con las líneas modulares formando la zona modular del elemento. El elemento debe mantenerse en su zona pero hay soluciones en las que las uniones o enlaces obligan a superar la zona modular, como los machihembra-dos. Otro problema puede surgir en las esquinas, que se resuelven con piezas especiales no modulares o por desplazamiento de la malla y sus componentes. Se admiten varias posibilidades y puede hacerse lo más apropiado en cada caso.

Al pasar de 2 a 3 dimensiones los problemas de unión se complican y a veces se rompe la malla modular; en ocasiones se puede resolver con componentes modulares de catálogo pero en la práctica es poco posible debido a las exigencias de las juntas. También es frecuente que sea necesaria la rotura de la malla, especialmente en viviendas unifamiliares. Finalmente existen de nuevo dos métodos: diseño de la estructura sobre una malla modular, lo que implica elementos especiales en las esquinas, intersecciones y juntas en T y el resto de elementos se acoplan al edificio en base exclusivamente a sus requisitos funcionales, o diseño del edificio utilizando tantos elementos modulares como sea posible, conectándolos en base a sus requisitos funcionales y sin emplear necesariamente una malla modular. En la práctica se combinan ambos métodos.

La Normativa danesa es un claro ejemplo de sentido común, contempla las soluciones totalmente modulares y admite las que no lo son, dejando posibilidad para cualquier intervención, especialmente compleja en el caso de las reformas o rehabilitaciones en edificios antiguos. Supuso una superación de esfuerzos anteriores demasiado rígidos con mallas universales, impuestas reglamentariamente, en las que se habían puesto excesivas esperanzas. Por otro lado en los años 60 la coordinación se asociaba a los sistemas cerrados que paradójicamente tampoco la necesitaban ya que sólo debían satisfacer unos códigos propios.

En Francia se publican en 1978 las "Convenciones Generales de Coordinación Dimensional" dentro del VII Plan Francés y con el consenso de la Asociación Constructions et Composants, -A.C.C.- que incluye a arquitectos, ingenieros, constructores, fabricantes y sindicatos. Partiendo de los resultados del informe finlandés BES (Beton Element System) intenta establecer un sistema progresivo de utilización de componentes. Se introduce la noción de espacio contenedor y espacio contenido, entendiendo que una parte de la obra se inserta dentro de otra. Se distingue entre "espace d'emprise" o espacio mínimo necesario y "espace capable" espacio capaz o espacio suficiente, ambos espacios puede ser modulares o no. La A.C.C. define los conceptos de dimensión de coordinación, de nominación, dimensión técnica, de fabricación, efectiva, las dimensiones límites máxima y mínima, las desviaciones límites, la posición nominal en la obra y las tolerancias de fabricación y montaje, el juego de comportamiento y el espacio de unión. El enfoque se adapta a la realidad de forma muy sensata reconociendo de forma explícita la frecuente necesidad en la realidad cotidiana de un espacio de adaptación, con este planteamiento se promueve la introducción de componentes modulares en espacios no modulares en la medida en que sea posible. Las intervenciones en la rehabilitación de edificios o en cualquier edificio con rígidos límites geométricos, lo que por otro lado es muy habitual, pueden encajar con este planteamiento.

En 1978 aparece la norma Holandesa NEN 2883 "coordinación modular en la vivienda" en continuidad con el trabajo del Grupo SAR "Stichting Architecten Research" formado en 1965 por 10 estudios de arquitectura que compartieron unos principios de diseño. Es fundamental comprender que SAR considera que la estandarización no es el objetivo sino el resultado de una producción racional y considera la coordinación como método para conseguirlo. SAR utiliza la malla modular de forma no coactiva sino para situar los elementos, sean modulares o no. Utiliza el módulo de 10cm como básico y uno de 30cm como preferente; utiliza una malla de bandas de 10 y 20cm consecutivas con siete reglas gráficas.

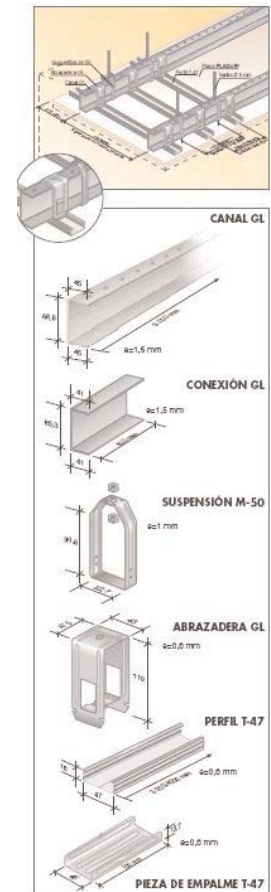
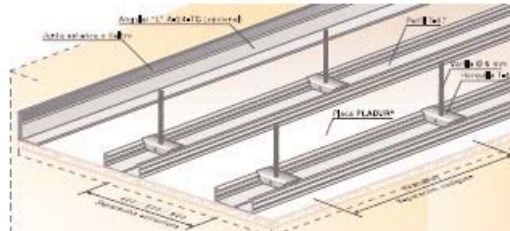
Los objetivos de SAR eran varios: facilitar la cooperación entre diseñadores, fabricantes, distribuidores y promotores, permitir el uso de componentes modulares, organizar el diseño haciendo posible obtener la dimensión de cada componente y su relación con el resto, modular lo mas posible cada componente, permitir su intercambio, simplificar la colocación y unión y asegurar la coordinación entre instalaciones y equipos con el

Ud.	Material	Cantidad por m ² sistema		
		Separación de la estructura		
		400	500	600
MA ²	Placa Modul [®] (N, TEC, WA, GD, FON, FOC y MO)	1,05		
ME	Perfil T47	2,60	2,00	1,80
MI	Angular "L" A 24-TC	0,70		
Ud.	1 Placa Modul [®] 12,5mm	2,16	1,70	1,50
	1 Placa Modul [®] 15mm			
	2 Placas Modul [®] 12,5mm	2,70	2,25	2,00
Ud.	1 Placa Modul [®] 12,5mm PM-25	10		
	1 Placa Modul [®] 15mm PM-35	(12) ⁽¹⁾		
	2 Placas Modul [®] 12,5mm			
Ud.	Primera Placa PM-25	10	10	10
	Segunda Placa PM-45	12	12	12
Ud.	Pieza de Empalme T47	0,32	0,30	0,28
Kg	Pasta de Juntas Modul [®]	0,47		
ME	Cinta de Juntas Modul [®]	1,89		
MI	Junta Estanca	0,70		

(1) Placas FOC, GD, MO

Ud.	Material	Cantidad por m ² sistema		
		Separación de estructura		
		400	500	600
MA ²	Placa Modul [®] (N, TEC, WA, GD, FON, FOC y MO)	1,05		
ME	Perfil T47	2,60	2,00	1,80
MI	Angular "L" A 24-TC	0,70		
Ud.	1 Placa Modul [®] 12,5mm	2,16	1,70	1,50
	1 Placa Modul [®] 15mm			
	2 Placas Modul [®] 12,5mm	2,70	2,25	2,00
Ud.	1 Placa Modul [®] 12,5mm PM-25	10		
	1 Placa Modul [®] 15mm PM-35	(12) ⁽¹⁾		
	2 Placas Modul [®] 12,5mm			
Ud.	Primera Placa PM-25	10	10	10
	Segunda Placa PM-45	12	12	12
Ud.	Pieza de Empalme T47	0,32	0,30	0,28
Kg	Pasta de Juntas Modul [®]	0,47		
MI	Fita de Juntas Modul [®]	1,89		
MI	Junta de Estanqueidade	0,70		

(1) Placas FOC, GD, MO



VSN 20/120	
Hoogte (mm)	200
Breedte (mm)	1200
Max. plaatlengte (m)	7,80
Transportgewicht (kg/m ²)	312
Voegvulling (l/m ²)	6,8

SCN 20/120	
Hoogte (mm)	200
Breedte (mm)	1200
Max. plaatlengte (m)	7,80
Transportgewicht (kg/m ²)	277
Voegvulling (l/m ²)	6,8

Isolatie mogelijkheden

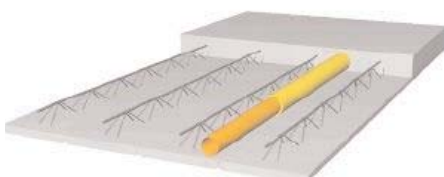
Spiegel-oplegging	
Breedte	3,0 3,5 4,0
GLN 12060	x x x
GLN 16060	x x x
GLN 20060	x x x
VSN 120120	x x x
VSN 150120	x x x
VSN 180120	x x x
VSN 200120	x x x
SCN 200120	x x x

Geïsoleerde nokoplegging	
Breedte	3,0 3,5 4,0
GLN 12060	x x x
GLN 16060	x x x
GLN 20060	x x x
VSN 120120	
VSN 150120	
VSN 180120	
VSN 200120	
SCN 200120	x x x



Voorraad betonplaten

PassePartout; de ideale prefab-oplossing bij renovaties, aanpassingen en uitbreidingen



De PassePartout bewijst zich in de bouwpraktijk als een ideale prefab-oplossing voor klein maatwerk. De PassePartout is een bekistingsplaat met de onderstaven van ingestorte tralieleggers als wapening. In combinatie met de druklaag ontstaat een stijve, monoliete draagvloer. Een belangrijk extra pluspunt van

de PassePartout is de vrijwel onbegrensde flexibiliteit in de maatvoering. De platen zijn leverbaar in breedtes van 14, 29 en 60 cm. De lengtematen lopen van 0,65 meter telkens met 10 cm op tot maximaal 5,95 meter. De betondikte van de PassePartout-plaat is 35 mm. De PassePartout maakt speciale

vloervormen mogelijk, dankzij de voordelen van een in het werk gestorte vloer in combinatie met wapening. De PassePartout kan met mankracht geplaatst worden en is vlot inpasbaar in bestaande bouwkundige situaties.

Belangrijke voordelen:

- alle kleinere PassePartout-platen kunnen handmatig gelegd worden
- alle PassePartout-platen zijn uit voorraad leverbaar
- PassePartout-platen lenen zich bij uitstek voor maatwerk in bestaande situaties
- dit prefab-systeem leent zich uitstekend voor het inpassen van leidingen



edificio. Estos principios son recogidos por NEN 2883 con 9 reglas, y se completan con una extensa colección de detalles constructivos para su aplicación.

En los 50 y 60 el objetivo de la Normalización era la productividad, se consideraba un fin en lugar de ser un medio, pero gracias a eso se incrementó mucho la propia producción. En los 70 se modifican los planteamientos en la redacción de Normas y Reglamentos orientándose cada vez más a la elaboración de instrumentos de control para verificar las exigencias técnicas.

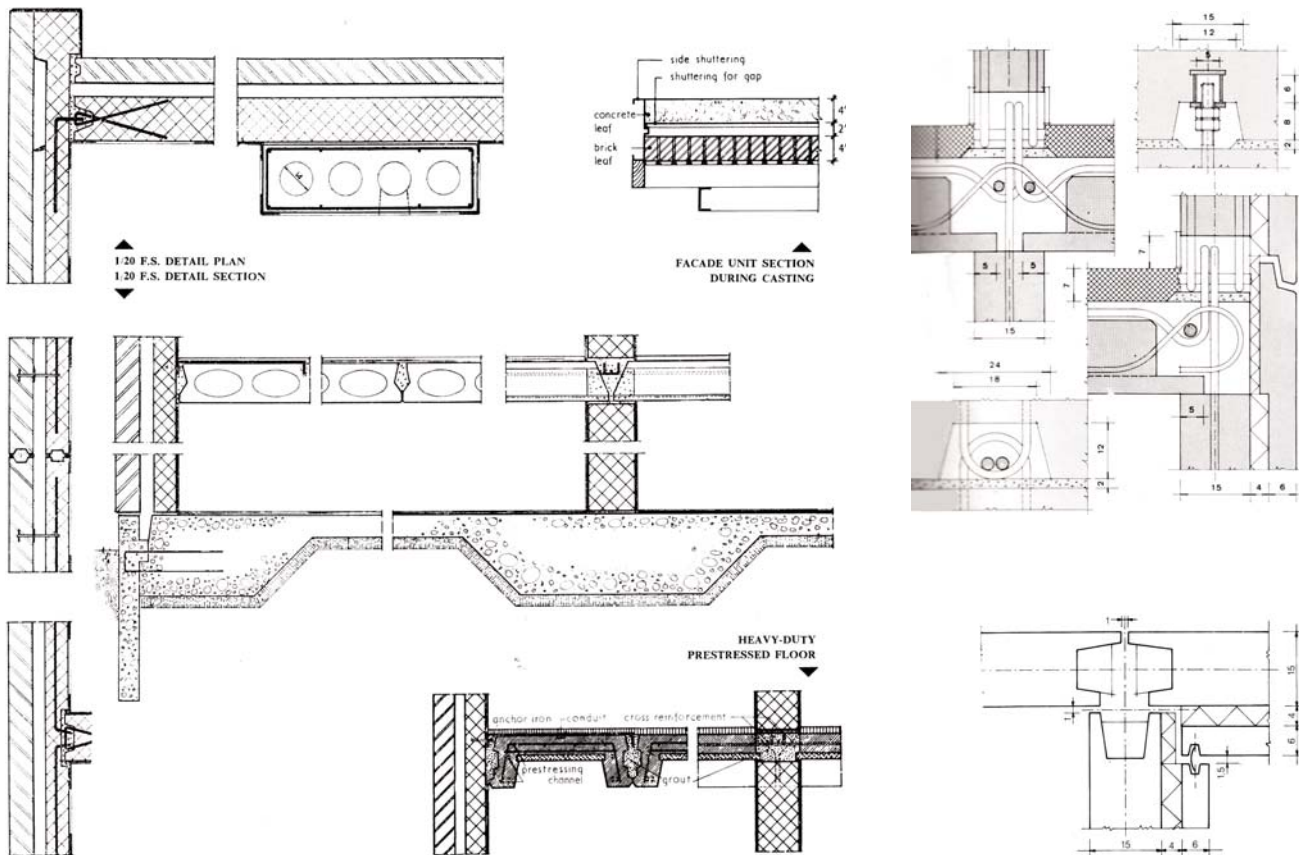
LA INDUSTRIALIZACIÓN ABIERTA

La industrialización abierta es la respuesta de la industria a la crisis iniciada en los años 70, cuando los fabricantes intentan diversificar sus productos para adaptarse a la transformación de un sistema de demanda en el que todo se vendía por otro en el que hay que competir. Al cansancio de la opinión pública sobre el abuso del modelo barra-torre hay que añadir el inicio de la crisis energética de 1970-73 que provoca una grave crisis económica disminuyendo de 7 a 5 el número de viviendas construidas por cada 1000 habitantes al año; por otro lado la construcción de viviendas unifamiliares llega en algunos países al 50% del total (Francia, Holanda e Inglaterra), el tamaño medio de las obras decrece, bajando mucho el número de obras de más de 200 viviendas y hay que recordar que los sistemas "cerrados" se acoplan mal a esa obra dispersa, la crisis del petróleo impulsa normativas rigurosas respecto al aislamiento térmico que dejan fuera a muchos sistemas de la llamada "escuela francesa de grandes paneles", finalmente, el derrumbamiento como un castillo de naipes de la torre prefabricada Ronan Point en Londres en 1968 influye muy desfavorablemente en la opinión pública sobre estos modelos constructivos. Sólo algunos fabricantes de grandes paneles pueden sobrevivir ofreciendo mejor calidad, variedad y respuesta a demandas pequeñas menores de 100 viviendas, otros fabricantes buscaron la exportación y la mayoría desaparecieron.

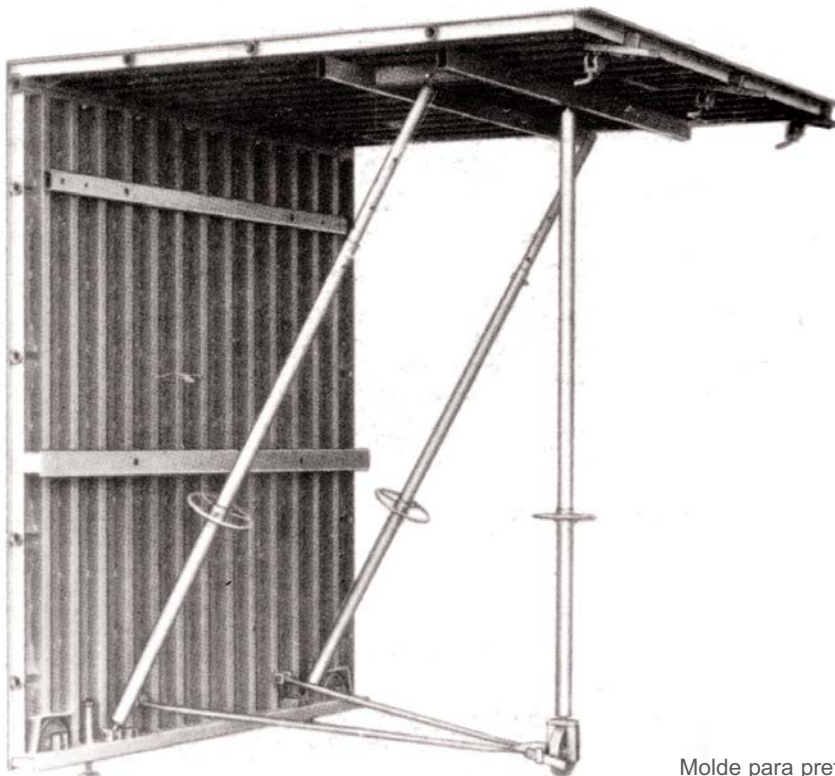
Ya en 1973 en Francia, muy preocupada ya por la crisis energética, se observa un cambio en la formación de los grandes paneles clásicos de tipo sándwich con marco de unión de hormigón entre las capas interna y externa que presentaban graves problemas técnicos de aislamiento por la rotura del puente térmico. Los escandinavos ya entonces independizaban las caras interna y externa y en Francia aparecen modelos semejantes con doblado en obra de paneles independientes; otros fabricantes se plantean la solución de los puentes térmicos o el uso de nuevos materiales para no quedar fuera de la normativa de ahorro de energía. Desde entonces se trabaja en Francia en la puesta a punto de sistemas con mayor calidad y cada vez más abiertos con componentes provenientes de distintas empresas.

Las tecnologías de componentes, que se estudian de forma más detallada en el siguiente epígrafe, ya existían antes y resistían bien la crisis, ya que la prefabricación abierta permitía que varios fabricantes pudieran producir elementos para una misma construcción y era posible la coexistencia de la construcción prefabricada con la tradicional. Una característica de la tecnología de componentes que había que resolver es que necesita una mínima coordinación dimensional, mayor que la necesaria con los sistemas cerrados y con más importancia en los sistemas en los que colaboran más fabricantes; se necesitaban catálogos bien estudiados de cada fabricante, respetando las dimensiones con suficiente precisión y dentro de un sistema de tolerancias previsto; también era necesario que los fabricantes tuviesen un amplio radio de acción, más grande cuanto más específicos sean los usos de sus productos y además tenían que disponer de stock para la rápida distribución.

Aunque no rebajaban los costes finales, los componentes se adaptaban mejor a las nuevas tendencias, se adecuaban mejor al creciente mercado de unifamiliares ya que el menor volumen de las obras penalizaba las tecnologías de hormigón en grandes paneles y por otro lado el mejor cumplimiento de la Normativas también les favorecía. En Francia coadyuva a la transformación industrial la política de restricción de la mano de obra inmigrante y la mejora del nivel de empleo en el sector ante la seguridad de que los jóvenes franceses no volverían a las obras a no ser que se elevase su consideración social.



Detalles de construcción de juntas y nudos



Molde para prefabricación "in situ" con encofrado tipo túnel

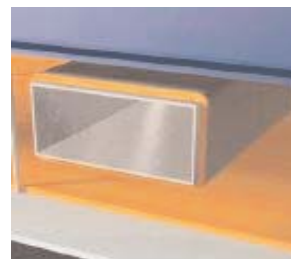
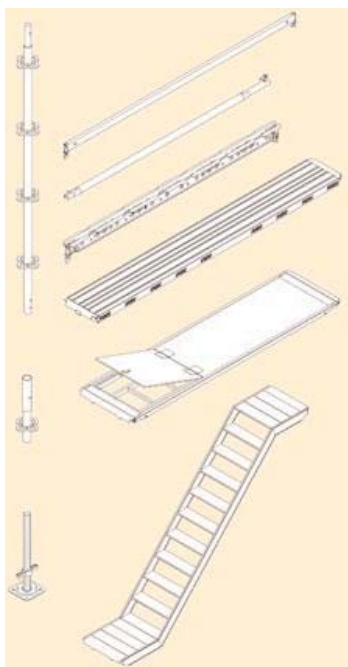
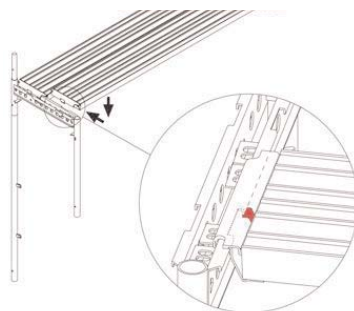
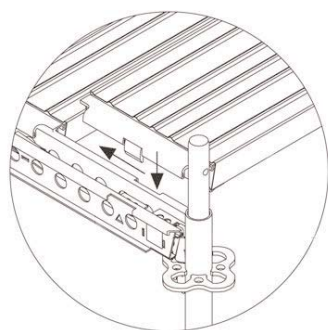
En 1975 ya se habla del fin de la prefabricación a base de sistemas "cerrados" de grandes paneles y se sientan las bases de la prefabricación abierta en la construcción a base de componentes compatibles, aunque por el momento sólo se aportan trabajos teóricos y pro-totipos. Al periodo de la industrialización abierta se le ha llamado el de la segunda generación tecnológica, basada en procedimientos menos rígidos, mas abiertos a la coexistencia de productos y a la utilización de componentes prefabricados de distinta procedencia y aptos para colocarse en obras industrializadas o no industrializadas, se usan de forma cada vez mas frecuente las juntas universales y las gamas modulares. Incluso en la actualidad se considera la mejor forma de industrialización y es aceptada por los que opinan que la compatibilidad universal era una ilusión. Como contrapartida los sistemas abiertos requieren reglas más precisas y de mayor aceptación por proyectistas, constructores y fabricantes. Es una tarea compleja que se debe abordar a su escala por todas las partes implicadas.

En Francia la industrialización abierta avanza apoyada en el VII Plan del Gobierno en el marco del "Plan Construction". A partir de 1978, con la edición de las "Conventions de Coordination Dimensionnelle" patrocinadas por la "Asociación Construcción y Componentes", ya existía el consenso necesario para trabajar en torno a la industrialización abierta. El "Plan Construction" invirtió entre 1971-75 en investigación y ayuda al desarrollo más de 200 millones de francos, favoreciendo el nuevo modelo con medidas para crear las condiciones de mercado favorables a procesos que fueran independientes del tamaño de las promociones, asegurando la unidad técnica en la diversidad de la arquitectura, favoreciendo el desarrollo industrial compatible con la evolución de las estructuras profesionales, abriendo canales de exportación, facilitando la racionalización, mejorando las condiciones de trabajo en obra y la cualificación, mejorando la calidad de las viviendas, reduciendo riesgos de error y permitiendo la flexibilidad y las posibles mejoras y transformaciones posteriores. El plan coordinaba los esfuerzos de la administración, promotores, proyectistas, industriales, fabricantes y montadores para conseguir un mercado de componentes compatibles y cubría los campos tecnológicos, financieros, administrativos y jurídicos. El plan se reservaba 4.000 viviendas al año con carácter experimental, en las que 4 grupos de expertos (clasificados en 4 áreas: estructura, cerramiento, tabiquería y equipo) contrastarían experiencias. Los trabajos se centrarían en el ensayo de los componentes y su colocación, en la revisión de la normativa y en la de los objetivos planteados, en el análisis de la formación de costes, el control de resultados globales, su información y su difusión.

Los sistemas de unión y el estudio de las juntas ha resultado uno de los temas más importantes para el desarrollo de los componentes, normalmente se han preferido los sistemas de montaje en seco mediante soldadura, tornillos o remaches a los húmedos con hormigones o morteros, pero en todo caso la uniones han de ser correctas cuidando el aislamiento acústico y el térmico, la impermeabilización, la dilatación térmica y otros aspectos, y para el correcto funcionamiento de la construcción su realización requiere mano de obra especializada y cuanto mas pequeños sean los elementos mayor número de juntas existirán y mas mano de obra será necesaria. Una alternativa fue la de trabajar con células tri-dimensionales que llegaban a la obra terminadas minimizando las juntas necesarias en su colocación, sin embargo no han alcanzado mucho desarrollo y han sido muy criticadas por su poca adecuación y su rigidez en cuanto al diseño arquitectónico. En casos mas complejos para las juntas como las barreras de capilaridad, rehundidos o goterones existen intentos de su elaboración en fábrica como otro componente mas, eliminando complicadas formas de los cantos de paneles que los encarecen y dejándolas listas para su montaje con uniones simples mediante remachado o solape.

A mediados de los 70 en Francia se realizó un análisis completo del coste de las juntas constructivas, estudiándose la forma de los bordes de los elementos prefabricados y las operaciones de moldeo necesarias, los materiales y accesorios que intervienen en la fábrica y en la obra y los costes de mano de obra para la colocación, demostrándose que el 50% del valor final se debía aplicar al coste de las juntas. Sin embargo el valor era similar en la construcción tradicional y sólo disminuía en la prefabricación pesada, por su menor número.

Es también interesante el giro producido en Francia con los forjados sustituyendo los grandes paneles prefabricados por los encofrados metálicos con sistemas de vertido "in situ" por encofrado túnel o con mesas de encofrado, llegando a cuadruplicarlos en numero de m², aunque la suma de ambos sólo representaba un 30% del total de la construcción, siendo el 70% restante ejecutado de forma tradicional; en las fachadas se usaban



M2021 Manta aluminio
Aislamiento conductos de chapa



M5102L Manta alu. reforzada
Aluminio de alta resistencia



M3603 Manta alu. puro incomb.
Buena clasificación al fuego A2

Catálogo de componentes autónomos de una industria de aislamientos

paneles prefabricados en una relación de 3 a 1 respecto a los realizados con encofrado metálico pero se trata de paneles mejorados térmicamente, tipo sándwich o de varias capas.

EMPLEO PARCIAL DE COMPONENTES

El empleo de componentes está estrechamente relacionado con el concepto de industrialización abierta y la colaboración entre fabricantes; su uso en la práctica aparece de diferentes maneras, siendo habitual un empleo parcial; existen otras posibilidades, que posteriormente se tratan, con un carácter distinto, algo más cerrado a la colaboración, como la del uso casi exclusivo de componentes y la de los mecanos.

El uso de componentes de forma parcial aparece en estos años como una fuerte tendencia que coexiste con la construcción tradicional. Tras la crisis de la prefabricación "cerrada" de grandes paneles los constructores empiezan a utilizar gamas de productos o componentes sueltos de manera creciente; los fabricantes los presentan mediante catálogos, habitualmente con cierta variedad de dimensiones, lo que permite su adaptación en obra mediante los sistemas de unión necesarios a juicio del constructor, ya que generalmente el fabricante no resuelve los detalles necesarios para su uso.

Julián Salas⁶ clasifica los componentes en dos categorías conceptuales, componentes autónomos y componentes específicos; se diferencian fácilmente por el tipo de catálogo del producto, los catálogos de los componentes autónomos al describir el producto sugieren una serie de usos posibles, intentando ampliar su mercado al máximo. Ejemplos de productos autónomos son los tableros y molduras de madera o de materiales sintéticos; las placas y láminas metálicas cortables en múltiples formas y con uso muy variado: para paramentos, como barrera de vapor, aisladas, de tipo sándwich...; los perfiles de extrusión de hierro, aluminio o PVC para su uso en carpinterías, estructura y canalizaciones, con cualidades estancas y con rotura de puente térmico; los rollos de material impermeabilizante o aislante, que sellan juntas y se moldean en formas complejas. En la actualidad su distribución se ha extendido con mucha rentabilidad a las cadenas de supermercados del bricolaje. También son componentes autónomos los ascensores, los radiadores, los aparatos sanitarios, los equipos de cocina... y no suelen presentar problemas de compatibilidad si se han previsto en el proyecto.

Los componentes específicos tienen catálogos muy diferentes, ya que sus elementos se colocan según sus propias reglas, que quedan descritas en sus catálogos-manuales, utilizan pocos componentes con muchas combinaciones posibles. Conceptualmente heredan a escala menor las reglas de los sistemas "cerrados" y como ejemplos se pueden citar los elementos para formación de andamios, muchas de las instalaciones de agua, calefacción y saneamiento basadas en patentes, o los componentes preparados para "vestir" el interior de los armarios de obra.

El inicio de la fabricación de componentes hay que buscarlo en la necesidad de compatibilidad de las munionces de distinto origen para ser usadas con las armas de fuego en el siglo XVIII. En 1840 aparece un buen ejemplo con los catálogos de elementos de fundición de todo tipo, estufas, columnas, mobiliario..., el problema básico era la amortización de la inversión en la fabricación de los moldes, que se alargaba con la proliferación de modelos; hacia 1880 las fábricas de modelos de fundición cayeron en una crisis y muchas desaparecieron. El concepto más problemático que subyace es el derivado de la ornamentación que incide negativamente en la compatibilidad y en la adaptación entre modelos diferentes que comparten una misma función, pero con formas muy distintas.

La utilización de componentes en las obras significa una delegación de tareas, que en lugar de realizarse por métodos tradicionales en la propia obra se llevan a cabo en taller o fábrica, con esta operación se suele alcan-

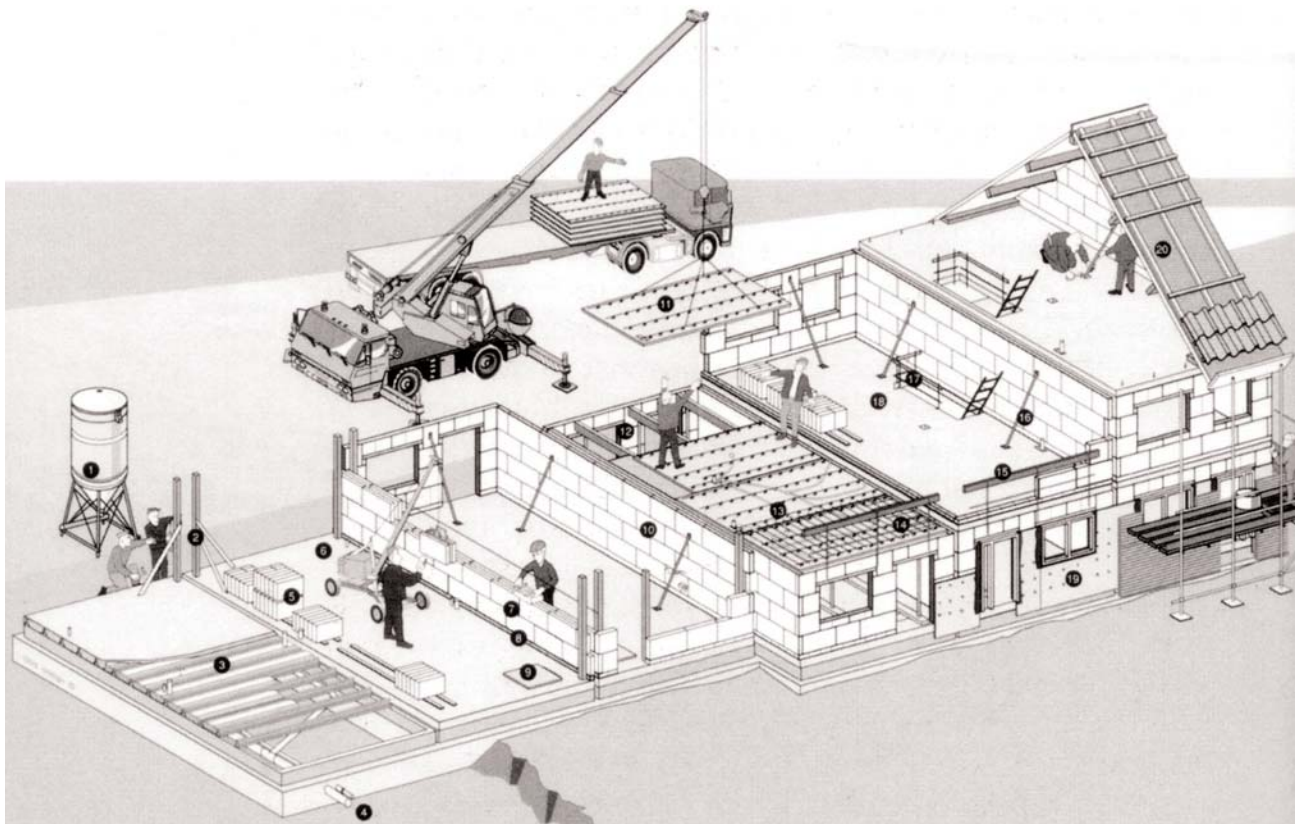
⁶ Julián Salas, Alojamiento y tecnología, 1981



Colocación de paneles prefabricados de tamaño medio



Prelosa para la construcción del forjado



Esquema de prefabricación con componentes. Fuente R.M.E. DIAMANT, MSC. Industrialised building

zar mayor rendimiento debido a las mejores condiciones de trabajo, mejor cualificación de los operarios, mejor reparto de funciones, mejor uso de la tecnología, haciendo trabajos que en muchas ocasiones sólo puede ser realizados con la limpieza y la protección del taller, como ocurre con los trabajos de carpintería, los plegados y cerrajería en general, el esmaltado, la pintura y el tratamiento de materiales plásticos por prensado, vacío o inyección; en la fábrica también existe una mejor gestión de los materiales en bruto y de los elaborados, aunque esta gestión debe contemplar los gastos de transporte, embalaje y acopio del producto elaborado. Un análisis de las ventajas de fabricación en taller frente a obra debe finalmente contemplar la amortización del coste de la construcción de la fábrica o taller⁷.

Las reglas naturales del mercado son muy simples, la producción de componentes es posible en fábrica si el rendimiento mejora; además si se emplean materiales de mejor calidad y mas caros, para compensarlo tiene que existir mayor economía en la mano de obra necesaria. Los parámetros que importan son básicamente los costes de materiales y mano de obra, y el tamaño de la serie de producción. Respecto al tamaño de la serie el fabricante tenderá a un número mínimo de elementos y el usuario, o el constructor, pre-tenderá que exista un producto a su medida, finalmente se puede alcanzar un equilibrio satisfaciendo a las partes en la medida de las posibilidades reales de fabricación y consumo, en definitiva del coste. Una serie con muchas repeticiones permite una mayor inversión previa a la producción, que tiene que cubrir el estudio del producto, el procedimiento, la maquinaria y utillaje, la formación y el rodaje de los equipos y si ha sido correctamente planteada saldrá al mercado y podrá recuperar la inversión y en su caso generar beneficio. El arranque necesita en ocasiones cierto empuje administrativo pero que no debe ser determinante a la larga.

Un error habitual es pensar que las series de componentes pequeños pueden ser mas flexibles y tener catálogos mas extensos, y las de componentes de mayor tamaño tienen menor flexibilidad y mayor economía. Hay otras variables de mayor importancia como son el peso máximo que pueden manejar uno o dos operarios, los gálibos de transporte hasta el interior del edificio, las características resistentes y las de fabricación; el ejemplo mas inmediato es el tamaño de 120cm habitual para el ancho de losas de forjado, los 6kN máximos para el manejo manual y los 240cm de gálibo de transporte normal. Estas variables limitan de forma práctica el catálogo que cabe esperar del fabricante.

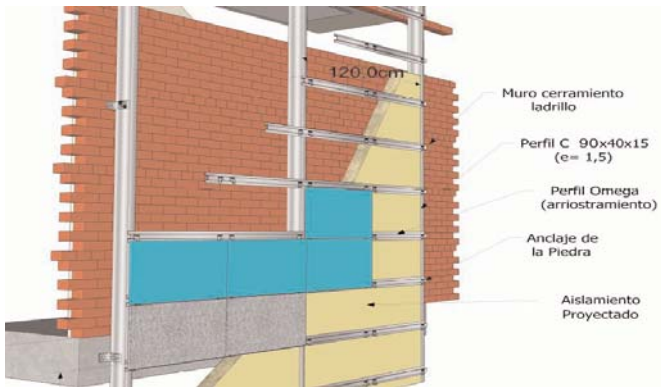
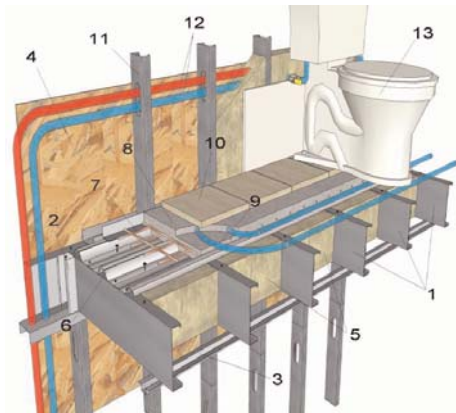
El sistema de componentes no limita la fabricación por el tamaño mínimo de las series. Lejos queda la uniformidad de producción obligada por los caminos económicos de las grúas, con bloques lineales de 80-100m. Por otro lado, la adaptación y mejora de los sistemas industriales de prefabricación se constata en el congreso Europrefab de 1978, con la baja del tamaño del pedido mínimo necesario para rentabilizar la producción. Para los sistemas cerrados clásicos empezaba a ser rentable un volumen de unas 200 viviendas y para sistemas de grandes paneles se podía trabajar en muchas ocasiones con lotes de tan sólo 100 viviendas

A partir de los 80 la industria se plantea la productividad no ligada a la repetición continua, lo que se ha llamado diversidad en la producción en masa, utilizando procedimientos de automatización, inicialmente por fichas perforadas y después por tecnologías informáticas o por máquinas de alta productividad ajustables manualmente sin gastos considerables por el paro de producción.

El empleo parcial de componentes es lo habitual en cualquier obra hoy en día: aparatos sanitarios, puertas, ventanas, viguetas..., en obras mas industrializadas se encuentran prelosas para los forjados, escaleras prefabricadas, tabiques ligeros, módulos de instalaciones..., la ventaja del sistema es el uso parcial, no obligado, de los componentes que interesen. Los mejor diseñados progresan y evolucionan satisfaciendo cada vez mas necesidades y ampliando sus catálogos, los demasiado rígidos desaparecen al no ser que se beneficien de algún tipo de ayuda estatal que en ocasiones ha sido necesaria para arrancar un producto para el que no exis-

⁷ Paul Bernard, La construction par composants compatibles, 1982

⁸ Julián Salas, Alojamiento y tecnología, 1981



tían las condiciones objetivas en el momento, pero que no deberían depender durante un largo periodo de ese apoyo externo que prima su falta de competencia.

USO CASI EXCLUSIVO DE COMPONENTES CON PREFABRICACIÓN A MEDIDA

Esta tendencia es la heredera de los sistemas cerrados de grandes elementos pero ahora con el objetivo de la prefabricación por encargo a la medida de construcciones concretas. Son sistemas completos de componentes a demanda y permiten una industrialización total sin mano de obra tradicional. Las variaciones que permite el fabricante suelen tener unos límites que el proyecto debe contemplar, no existen otras convenciones a respetar y las juntas entre elementos están resueltas por el propio sistema utilizado. Su uso en viviendas es escaso pero subsiste en albergues provisionales y situaciones en las que la rapidez prima sobre la economía.

SISTEMAS TIPO MECANO

Si se extiende el concepto de componente específico a la totalidad de la construcción se entra en la categoría de lo que se ha llamado "meccanos". Los sistemas tipo "meccano" son sistemas cerrados con su propia lógica interna y emplean componentes definidos en un catálogo limitado, combinando elementos de un solo fabricante o de diferentes fabricantes asociados y obteniendo múltiples soluciones según las combinaciones definidas en el catálogo. Los componentes están muy estudiados y suelen estar disponibles. Para poder utilizar el sistema el proyecto tiene que estar concebido desde el principio con ese fin. Existen soluciones ligeras para construcciones escolares y oficinas, y pesadas en hormigón armado para viviendas unifamiliares. Al ser una solución rígida se impide la intervención de otros fabricantes blindándose las patentes.

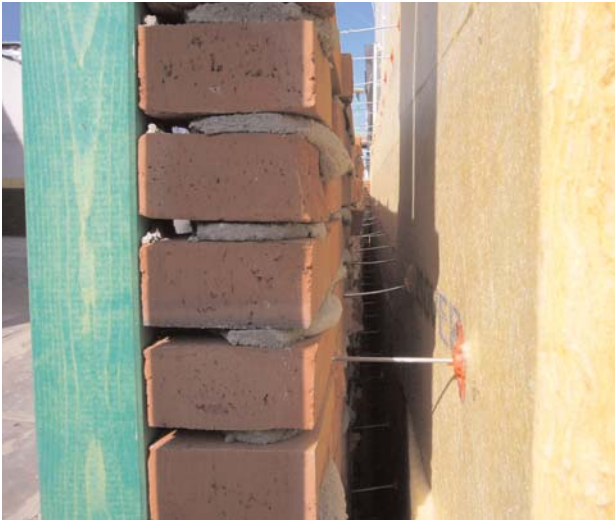
Parece obvio que con un mercado mas amplio se podría escoger mejor y compartiendo componentes se abrirían los sistemas a otros fabricantes... y a un mayor uso; ese paso no será fácil pero para su supervivencia parece que los sistemas tipo mecano deberían integrarse en las reglas de los sistemas abiertos creando componentes compatibles con otros mecanos, lo que obliga a respetar unas reglas del juego amplias.

PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN

TENDENCIAS ACTUALES DE LA INDUSTRIALIZACIÓN

La situación mas avanzada de los tres países analizados se produce en Francia, que ha afrontado de lleno todas las etapas de desarrollo desde sus comienzos, aprendiendo de sus errores y con una penetración de la industrialización en las obras en general elevada, aunque variable según la parte constructiva analizada.

Los fabricantes de grandes paneles, protagonistas de la primera generación de la industrialización, fueron los más perjudicados por la crisis pero se fueron adaptando a las nuevas condiciones de la edificación y han ido encontrando su lugar en la industrialización abierta por componentes. Los paneles son ahora de tipo sándwich, con el aislamiento incorporado entre capas de hormigón y utilizando hormigones aligerados con áridos o arcilla expandida. Otra opción ha sido la construcción de fachadas ligeras no portantes, con un marco o bastidor y un paramento, e incorporando las carpinterías, con pesos de sólo 1kN/m². En la CEE desde 1990 los grandes paneles entran en las construcciones como componentes, en ese sentido están las realizaciones de



Muro exterior de varias capas, la exterior con ladrillo colocado de forma tradicional. Ijburg, Holanda, 2007



Componentes diversos y aspecto exterior de la construcción. Edificios de viviendas. Ijburg, Holanda, 2007

la ACC en Francia, Lucien Kroll en Bélgica y los seguidores de Habraken en Holanda. El Taller de Arquitectura de Bofill utiliza la prefabricación de forma intensiva en Abraxas con nuevas formas decorativas, diversas texturas y detalles complejos, utiliza mezclas de áridos y combinaciones de cementos grises y blancos con añadidos de óxido, produciendo variedades de color del blanco al morado⁹. En Francia se ha seguido usando el sistema de "banches" o encofrado metálico para muros, muy similar al sistema alemán con entramado de vigas de madera y traviesas metálicas con encofrado fenólico. Las fachadas con estructura aislante son de hormigón armado aisladas con poliestireno expandido, conocidas en Francia como maçonnerie iso-lante, y hay distintas soluciones como bloques de poliestireno de medio o gran tamaño que se rellenan de hormigón armado y se enfoscan exteriormente.

Las fachadas ligeras con juntas simplificadas pueden abrir el mercado de componentes a pequeñas empresas, ya que son elementos fáciles de preparar y que pueden incorporar otros elementos como revestimientos ligeros metálicos, materiales plásticos de resinas sintéticas, composites, PVC, derivados fenólicos o de poliéster, con trasdosados ligeros de cartón yeso o madera al interior; además permiten la incorporación de otros elementos como pueden ser bastidores exteriores para paneles solares. También hay soluciones con placas de revestimiento cerámico en grandes piezas como alternativa a los paneles de piezas cerámicas de ladrillo al estilo tradicional, muy usadas en la zona mediterránea fran-cesa.

En las particiones interiores la industrialización ha entrado rápidamente, ahorrando mucha mano de obra con alicatados o paneles de yeso natural o sintético de toda la altura de pi-so, componentes con núcleo de poliestireno de poco peso y placas de cartón yeso con fi-bra de vidrio y vermiculita, hormigón celular, paneles de partículas, revestimientos de con-trachapado, enrejados de cartón o estratificados; el menor peso conduce a los tabiques desmontables o móviles con una nueva configuración espacial de la vivienda.

La construcción de los forjados ha abandonado las grandes losas, sustituidas por prelosas y losas armadas con hormigón celular. Desde los 90 se generalizó en Francia el sistema habitual en España de vigueta y bovedilla de hormigón, cerámica o de poliestireno y sigue siendo muy utilizado el sistema de encofrados metálicos con mesas o de tipo túnel.

Respecto al equipamiento la tendencia es a la agrupación de los equipamientos verticales en conductos técnicos resolviendo los empalmes con juntas deslizables, manguitos, raco-res especiales con juntas tóricas o encajes. Se dejan tabiques técnicos para albergar las canalizaciones de aparatos sanitarios, situados entre cocina y baño y aumentando su ais-lamiento acústico. Se investiga con células tridimensionales totalmente terminadas y reali-zadas con poliéster y fibra de vidrio y moldeadas en una pieza que han tenido gran implan-tación en Japón (las de hormigón que aun existen en Rusia han desaparecido en los demás países). Queda sin resolver la integración con el resto de conducciones de todo ti-po sobre las que habrá que hacer un esfuer-zo de coordinación y agrupamiento. La cale-facción tiene distintos componentes como los paneles calefactores de baja temperatura, que se integran mejor con los muros o forjados, la calefacción eléctrica se ha limitado a resolver el diseño de sus propios componentes, como los convectores, los suelos radian-tes o los acumuladores, según las necesidades de ahorro energético.

La oferta actual de componentes cubre casi todas las tareas constructivas, basta hojear los catálogos de carpinterías, sanitarios, cerrajerías, forjados... Los pronósticos realizados sobre su adaptación al mercado se van cumpliendo sin requerir un cambio drástico en los métodos constructivos. La industrialización ha mejorado técnicamente muchos productos gracias al esfuerzo realizado por la investigación y la innovación y apoyado en los contro-les de calidad propios de su funcionamiento, esto ha permitido que los elementos produci-dos gocen de buena fama y se integren en las construcciones de lujo y por extensión, gra-cias al abaratamiento conseguido por la producción, también en las más modestas.

Los avances no sólo se han producido en la producción de elementos, la utilización de componentes ha modificado la planificación de la obras al trasladar parte de las tareas habituales de la obra al taller o a la fábrica, pero por otra parte se ha requerido un esfuerzo notable en la planificación de la obra para ajustar la progra-mación del montaje de los com-ponentes; la dificultad intrínseca de las construcciones, con su adaptación al lugar median-te las cimentaciones y las infraestructuras alberga frecuentes imprevistos, el edificio no tiene nin-



Instalaciones de fontanería y electricidad para edificios de viviendas. Kits de saneamiento. Ijburg, Holanda, 2007



Instalaciones previstas en la ejecución de las losas de forjado. Ijburg, Holanda, 2007

guna semejanza con un objeto industrial y las circunstancias locales en cuanto al aporte de materiales y de mano de obra o las inclemencias del tiempo dificultan toda la planificación. La gestión de un plan de trabajo acota los desajustes todo lo posible, intentando el pleno empleo de equipos y personal, para ello es interesante el apoyo logístico de las herramientas informáticas, para conseguir que los componentes lleguen en el momento preciso, ni demasiado pronto para evitar stocks, ni demasiado tarde; esto también depende de la red de distribución del fabricante.

También se avanza en la utilización de equipos polivalentes de operarios capaces de realizar tareas diversificadas, se trata de que sean capaces de ensamblar componentes y trabajar con semiproductos, siguiendo la definición utilizada por algunos autores para un estado en la elaboración de materiales inferior al de componente, como son los perfiles extrusionados que se cortan a medida en la propia obra. Las obras se podrían parecer a grandes talleres industriales en las que los operarios tampoco tienen que hacer de todo, ya que pueden existir familias para ciertas actividades agrupadas: instaladores de la obra gruesa, estructura, cerramientos y escaleras; instaladores para tabiques, electricidad, telefonía, televisión y ventilación; instaladores de equipamientos sanitarios, fontanería, calefacción y gas; instaladores de acabados, revestimientos de paredes, suelos y techos. Estas o similares clasificaciones suponen un paso más en la adecuación de la división del trabajo con la industrialización de la construcción.

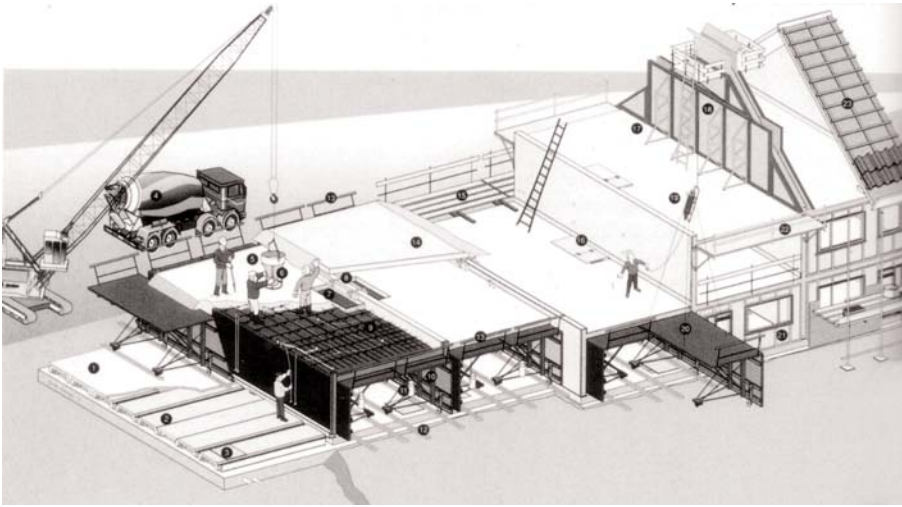
Paul Bernard¹⁰ señala los criterios para juzgar el grado de introducción del mercado de componentes en un sistema constructivo, llamado S3C (construcción por componentes compatibles):

- Calidad de la "logística"
- Respeto a las normativas actuales
- Calidad del "material", es decir, riqueza de catálogo de los componentes y aplicación de varias tecnologías
- Aptitud para responder a programas y sinopsis variadas.
- Ductilidad arquitectónica.
- Disociación entre producción y puesta en obra.
- Abertura a otros fabricantes y empresas de puesta en obra.
- Compatibilidad.

En los últimos años Holanda ha tenido una producción anual de 80.000 a 100.000 viviendas, con un 78% unifamiliares y el resto de 2 a 4 alturas, por lo que la prefabricación pesada ha sido escasa, siendo mayor el uso de encofrados túnel. Desde 1980 se ha discutido la filosofía llamada de "open building" que independiza el proceso de la construcción en niveles de decisión, mejorando la adaptabilidad. En los años 90 se ha incrementado esta filosofía a todos los ámbitos, se trata de poder modificar las casa sin necesidad de cambiar su estructura y se conoce como IFD (industrial, flexible desmontable); no es fácil su incorporación ya que la gente interesada en lo que está construyendo para usar de forma inmediata no tiene la necesidad de investigar la posibilidad de cambiar cosas en el futuro; por otro lado, las empresas son principalmente de tamaño pequeño o mediano y están interesadas por lo que pasa en el momento no en un futuro mayor de 6 meses. El envejecimiento de la población ha hecho decaer la construcción nueva y se han incrementado las reformas de viviendas existentes bajando la construcción de viviendas nuevas desde 113.000 viviendas en el año 1980 hasta 73.000 en 2001; el mercado está muy saturado con una tasa de ocupación de 2,2 personas por vivienda y también ha disminuido el tamaño medio de las promociones que en 1970 era de 200 y ahora es de 20 a 40 viviendas.

Hay que considerar la necesidad de obras de rehabilitación por la adaptación a las normativas holandesas

¹⁰ Paul Bernard, La construction par composants compatibles, 1982



Esquema de prefabricación con hormigonado "in situ" tipo túnel.
Fuente R.M.E. DIAMANT, MSC. Industrialised building



Encofrados tipo túnel para viviendas.
Ijburg, Holanda, 2007.

que obligan a mejoras del aislamiento acústico de un 25% y del 100% en el aislamiento térmico, las mejoras en la eficacia de los servicios son del orden de un 20% y se requiere además un incremento de 20cm en la altura de techos y puertas de paso y un incremento del 40% en el trazado de escaleras. Se ha evaluado que la rehabilitación de edificios existentes cuesta un 30% más que la construcción nueva, sin considerar los problemas de viviendas temporales, molestias y problemas en las medianeras del edificio rehabilitado¹¹. En los casos de adaptaciones complejas se suele preferir el derribo y nueva construcción a la reparación integral, que sólo alcanza un 10% del total de la construcción, aunque en los años 70 llegaba al 60%.

En una reciente encuesta preparada y realizada por nuestro grupo investigador se ha detectado que los métodos constructivos tienen un alto grado de industrialización pero se usan los métodos tradicionales para los acabados. Con la solución de encofrado túnel se hace el 80% de las viviendas y el resto utiliza paneles prefabricados con aislamiento; los muros llevan las ventanas y puertas ya terminadas en el 50% de los casos. El uso de semilosas sólo llega al 10%, y las escaleras se prefabrican en el 95% de los casos. Los revestimientos de fachadas se hacen con ladrillo tradicional ya que tiene mucha aceptación entre los usuarios y en un 5% se usan paneles prefabricados de ladrillo como un solo componente. En las tabiquerías se usa el cartón yeso en un 90%. Los equipamientos de cocina están modulados siempre pero las instalaciones en baños mediante bloques técnicos no han tenido mucho éxito ya que no reducen los costes lo suficiente, aunque si es frecuente utilizar kits con segmentos de instalaciones listos para su ensamblaje.

En Alemania antes de la caída del muro se producían unas 300.000 viviendas al año con un 60% unifamiliar, pero se incrementó la construcción con la unificación distorsionando el mercado. En el año 1995 se llegó a 600.000 viviendas nuevas, bajando posteriormente hasta las 360.000 en 2001. La Alemania del Este trajo la herencia de los grandes bloques prefabricados con graves problemas técnicos y algunos en ruina con la necesidad de ser remplazados, aumentando la tipología de vivienda en altura, pero la prefabricación de viviendas no supera el 11% del total y debe aun superar la mala prensa dejada por los sistemas utilizados en el Este. La prefabricación pesada del estado centralizado construyó monótonas casas de producción masiva y poca calidad y el cambio al libre mercado convirtió en propietarios a sus habitantes, hasta entonces inquilinos pero con unas viviendas muy desfasadas en cuanto a los estándares europeos (especialmente de aislamiento térmico) y que resulta difícil de resolver, siendo muy complicado conseguir la necesaria cooperación de sus propietarios para mejorar los edificios.

LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

Los sistemas productivos se han ido modificando desde el sistema tradicional bajo pedido, típico de los fabricantes de fachadas, sector conocido en Francia como de hormigón arquitectónico, hacia la producción por lotes o tecnología de grupo, que ahora alcanza el 75% de la producción de consumo y que con el apoyo de la robotización y la informática permite una gran variedad de tipos. En la construcción el carácter variado de la demanda y su relativo poco volumen se adapta bien a esta forma de producción siempre que se tenga una correcta organización de los lotes de componentes con una adecuada programación del orden secuencial para no variar excesivamente el sistema de producción, algo factible con la programación informática. También se llama tecnología de grupo pues se trata de aplicar la producción en serie a grupos de componentes similares y conseguir artículos diferentes¹². El concepto nuevo es que la diversidad no es más cara gracias a la introducción de la robotización y la informática; los catálogos permiten variantes gracias a las modificaciones admisibles en el proceso industrial.

En el inicio de los procedimientos industriales sólo se contaba con el molde fijo, posteriormente se diversificó la gama de componentes con moldes regulares capaces de responder a series de dimensiones preferen-

¹¹ C.C.A.M. van den Thillart, Customised industrialisation in the Residential Sector, 2002

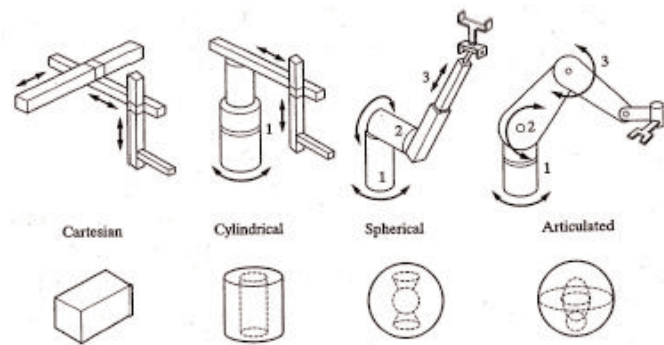
¹² Julián Salas, Arquitectura e Industria, 1991



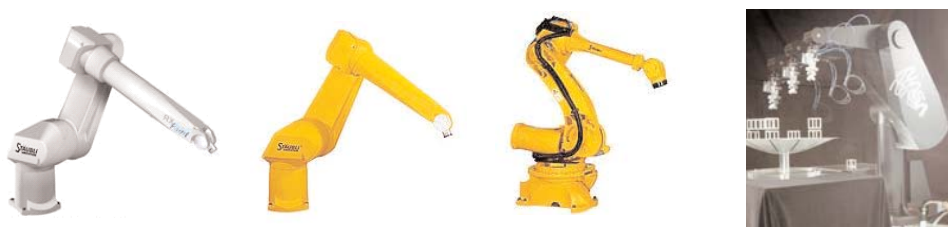
Ladrillo colocado de forma tradicional como capa de terminación. Ijburg, Holanda, 2007



Escaleras prefabricadas, cocinas y elementos de tabiquería en viviendas. Ijburg, Holanda, 2007



Los 4 movimientos fundamentales de la robótica:
 2P Cartesiano
 R2P Cilíndrico
 2RP Esférico
 RRP Brazo articulado
 Cada grado de movimiento incluye los inferiores



Puma (Programmable Universal Machine for Assembly), articulado y antropomórfico, es un robot complejo. De izda. a dcha., modelos RXPaint 130XL, RXPlastics 160 y RX270 de Staubli y otro de la NASA preparado para su uso en realidad virtual.

tes con costeros regulables, para llegar al molde universal de regulación automática con procedimientos de fabricación continua. La automatización de los procesos industriales ha permitido la mecanización de muchos procedimientos, que a partir de la confección del proyecto, y con el apoyo informático, permite despiezar los paneles necesarios y preparar los procesos para su fabricación. Se usan sistemas de control automático con distintos niveles de desarrollo, en los que hay relés y dispositivos que controlan temperatura, peso humedad y presión, técnicas de control proporcional que mantiene el nivel de producción a un ritmo estable (con intervención manual y vigilancia visual), existe vigilancia y control automatizado y determinación automatizada de las condiciones óptimas. Los ordenadores son imprescindibles abarcando todas las necesidades ya que abaratan los costes instrumentales y permiten modificar la lógica que los dispositivos mecánicos no pueden controlar. La alternativa a la producción por lotes con gran variedad de tipos es el de producción de grandes series o producción continua, sistema que permite demandas de gran volumen por sistemas continuos, como en el caso de semiproductos cortables y plegables, cartón yeso o placas o láminas que se trocean o adaptan posteriormente. La combinación de ambos sistemas es muy útil en la construcción. En cuanto a la concurrencia de productos de distintos países de la UE el problema puede existir en las diferentes normativas que afecten a la funcionalidad de cada componente, a los ensayos requeridos y a los laboratorios homologados.

LA ROBOTIZACIÓN

Francia, Alemania, EE.UU y Japón han sido hasta ahora los países más interesados en su desarrollo, el objetivo es mejorar la producción en tiempo y calidad y mejorar las condiciones de trabajo eliminando las tareas poco cualificadas, fatigosas y peligrosas. El CSTB "Centro Científico y Técnico de la Construcción de Francia" señaló unos requisitos que debían resolverse para la robotización en las obras como el de la facilidad de colocación de las máquinas en la obra y su movilidad dentro de ella, su manipulación para trabajos de acabados, la precisión del trabajo, la fuerte interacción entre máquina y medio y el control de ejecución, que el obrero especializado resuelve con su habilidad para los casos delicados. Algunos de problemas detectados son la introducción de brazos articulados de tipo industrial en la construcción, su elevado peso para la carga que pueden levantar (250-900kg levantan sólo 50kg), la falta de espacio y la necesidad de protección del polvo y la humedad. Su manejo también debe ser mejorado ya que los equipos periféricos necesarios son pesados y embarazosos (una consola de mando pesa mas de 100kg y se une al dispositivo con cableados gruesos y rígidos)¹³.

La JIRA (Japan Industrial Robots Association) ha confeccionado tablas de demanda y coste actuales en las que se nota el interés en robotizar los oficios, especialmente los peligrosos, utilizando adaptaciones de soluciones ya experimentadas en otros sectores como la construcción de estructuras metálicas para atornillar, soldar y pintar; el montaje y desmontaje de andamios, la compactación de hormigón, la colocación de paneles exteriores e interiores, el montaje de muros exteriores, la colocación de gres-cerámica y enlucidos, la soldadura de canalizaciones, la colocación de conducciones de aire y el aislamiento de conducciones, el transporte evitando obstáculos, la colocación de revestimientos exteriores, la demolición por interior o por el perímetro exterior, troceando hormigón y cortando redondos, la colocación de cargas explosivas, el vertido en encofrados y la unión de paneles normalizados.

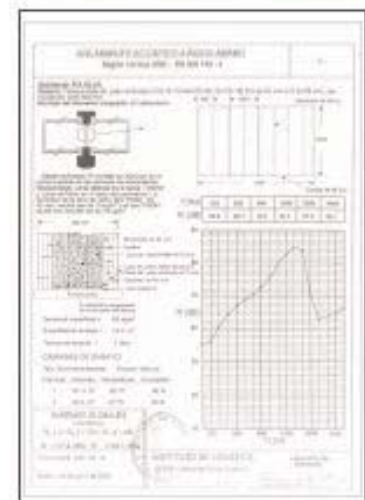
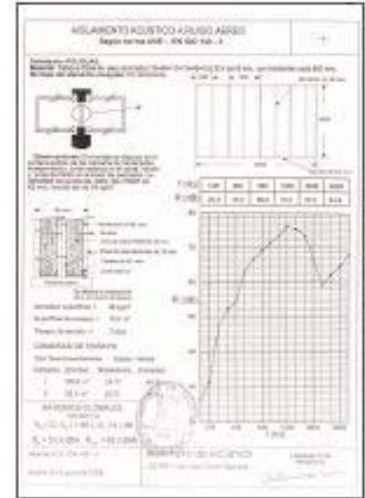
La JIRA ha clasificado los robots en clases:

Clase 1. Robot con múltiples funciones que actúa con un operador.

Clase 2. Robot con secuencias fijas encadenadas y prefijadas con difícil modificación.

Clase 3. Como la clase 2 pero fácil de modificar.

¹³ Julián Salas, Arquitectura e Industria, 1991



Certificado de características de calidad de un componente de aislamiento

Certificado del producto



- Sellos de marcado:
- Certificados de conformidad CE
 - Certificados de producto ACERMI y AENOR
 - Certificado de Declaración Ambiental
 - Certificados de calidad AENOR norma ISO 9001 y de gestión medioambiental ISO 14001
 - Certificados de calidad LLOYD'S norma ISO 9001
 - Certificado EUCEB

Clase 4. Un operador realiza la tarea y la graba el movimiento para que el robot la repita.

Clase 5. El operador mueve al robot con un programa de movimiento.

Clase 6. Robot inteligente que puede integrar el contexto y completar una tarea según los cambios sucedidos en su entorno

El RIA (Robotics Institute of America) y la AFR (Association Francaise de Robotique) sólo considera las clases 3 a 6 como robots y tienen su propia clasificación:

Tipo A. Dispositivo con tele control manual

Tipo B. Dispositivo con ciclos determinados

Tipo C. Programable, servo controlado con trayectorias continuas punto a punto

Tipo D. Como el C pero capaz de adquirir información de su entorno

Habrá que esperar mas para saber cuales de las tecnologías robotizadas se adaptan mejor a la actividad de la construcción y cual es el compromiso entre las diferentes técnicas que mejor encaja con los sistemas de trabajo, pero por ahora parece que la robótica es interesante en el marco del taller y la fábrica, y sólo de forma excepcional en la obra para desarrollar trabajos que por su dificultad o peligrosidad no puedan ser realizados por operarios.

LA PLANIFICACIÓN Y EL CONTROL DE CALIDAD

Existe otro aspecto relacionado de forma indirecta con la industrialización en el que los países europeos han avanzado mucho y es en la planificación previa y el control del desarrollo de la obra; los proyectos tienen ahora un desarrollo documental considerablemente mayor que el correspondiente a obras tradicionales, pero incluso en una obra tradicional la preparación detallada de todos los componentes se rentabiliza inmediatamente. La ubicación de las instalaciones dentro de los forjados solo es posible con una planificación detallada. Con la preparación de kits de cañerías de abastecimiento de agua, de distribución de calor o de saneamiento, se ahorra tiempo y se eliminan interacciones entre los distintos oficios con roturas de suelos o paramentos y continuos repasos de obras ya terminadas; el planteamiento es posible sólo si la ubicación de los elementos se ha analizado en detalle. Al mismo tiempo los controles intermedios de ejecución y de plazos de realización y entre-ga cobran un aspecto sustancial que se rentabiliza con el ahorro de tiempos de ejecución.

Para la difusión internacional de componentes en el marco de la CEE tiene especial importancia el tema de la homologación de los productos y de los métodos de ensayo utilizados por los laboratorios o empresas de control para el cumplimiento de las normativas de cada país o región, lo que va a requerir un esfuerzo normativo adicional que ya se ha realizado en algunos campos. La facilidad de intercambio comercial, una vez asegurada la calidad del producto, permitirá la disminución de costes con un mercado sin fronteras con un potencial de venta mucho más elevado de lo que hasta ahora hemos conocido.