

De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico

From closed system precasting to the subtle industrialization of building construction: keys to technological change

J. Salas*

RESUMEN

El trabajo que sigue pretende aportar hechos y posibles supuestos razonados sobre la evolución del sector de la edificación europea, con especial énfasis en el caso español, de la trayectoria de las tecnologías empleadas en el proceso de industrialización de la construcción en un período suficientemente amplio, –básicamente de 1970 a la fecha– lo que supone una panorámica de los hechos que han motivado o influido en el proceso de evolución de la construcción de viviendas a base de sistemas de prefabricación cerrada mayoritariamente mediante grandes paneles de hormigón a las nuevas formas de proyectar y construir que conlleva la utilización de componentes y subsistemas constructivos de diferentes procedencias.

El trabajo se estructura básicamente en forma de cinco temas que, en parte, recogen y actualizan aportaciones ya publicadas por el autor sobre los siguientes aspectos: la evolución cronológica de las tecnologías constructivas utilizadas mayoritariamente en las tres últimas décadas; los cambios en las técnicas de producción de elementos prefabricados; las juntas como invariantes de la construcción industrializada; el nuevo enfoque de la coordinación modular y la repercusión económica de los elementos funcionales en los presupuestos de construcción de viviendas.

195-4

Palabras clave: prefabricación cerrada; componentes constructivos; industrialización abierta; producción; coordinación modular; juntas.

SUMMARY

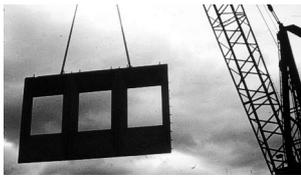
The present article discusses facts as well as possible assumptions relating to the evolution of building in Europe in general and Spain in particular, and the development of the technologies used in the industrialization of construction over a long period: essentially from 1970 to date. It is, then, an overview of the events that have occasioned or affected housing construction, ranging from closed system precasting, consisting primarily in large concrete panels, to the new design and building methods that entail the use of construction components and subsystems of different origins.

The paper is organized around five subjects that at least partially reflect and update contributions previously published by the author on the following: chronological evolution of the most common construction technologies used in the last three decades; changes in precast and prefabricated member production; joints as invariants in industrialized construction; the new approach to modular coordination; and the economic impact of functional elements on housing construction budgets.

Keywords: closed precasting; construction components; open industrialization; production; modular coordination; joints.

*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Madrid, España

Persona de contacto/Corresponding author: julian.salas@ietcc.csic.es (J. Salas)



1



2



3



4

1.- El gran panel de hormigón con las dimensiones de uno de los paños de habitación, de unos 6 a 12 m² y del orden de unas 5 Tn de peso fue logotipo de la reconstrucción europea. (Foto J. Salas).

2.- Una "típica" realización masiva de edificios de cinco plantas de altura que con pequeños quiebres se repite de forma monótona hasta completar 4.000 viviendas en Potznan (Polonia) a finales de los años sesentas. (Foto J. Salas).

3.- Edificios de tipología lineal y con alineación frontal realizados en Copenhague (Dinamarca) 1971, mediante el sistema danés Jesspersen. (Foto J. Salas).

4.- Detalle de las importantes bases de apoyo necesarias para las grúas-torre capaces de colocar paneles de 5 Tn a 15 metros de distancia, preparadas para resistir momentos de vuelco del orden de 75 m x Tn (Foto J. Salas).

¹ Este apartado actualiza el texto del autor incluido en el libro: *Arquitectura-Industria*, Julián Salas Serrano, Salvador Pérez Arroyo, et alers. Libro resultado de un proyecto de investigación financiado por quince empresas españolas con la colaboración del IETcc - CSIC (J. Salas) y la ETSAM (Prof. S. Pérez Arroyo), Páginas: 253 págs. Fecha: 1991, Editorial: PRONAOs, Madrid.

0. ACLARACIONES PREVIAS

El trabajo abarca un amplio período de actividad profesional en la teoría y práctica de la industrialización de la construcción del autor: inicialmente en el Seminario de Prefabricación de la ETSICCP de Madrid bajo la dirección del Prof. J. A. Fernández Ordóñez; en el estudio "Arquitectura y Diseño (AdSA)" y en el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (CSIC).

Se trata, obviamente, de reflexiones personales sobre al estado del arte del tema abordado: la industrialización de la edificación. Reflexiones basadas prioritariamente en trabajos del autor. También se referencian publicaciones, que aún hoy pueden resultar de interés, pese a que hayan transcurrido algunos lustros desde su aparición. No puede olvidarse que se trata de una temática que no se distingue precisamente por su carácter innovador, tampoco por el dinamismo temático de su producción bibliográfica.

El acompañamiento gráfico y bibliográfico de los temas conceptuales, pareció de interés al autor, como apoyo de algunos aspectos que, por razones de espacio, se presentan en forma muy concisa. El trabajo no ha sorteado, en ningún momento, algunos temas que pudieran ser conflictivos o propensos para el debate y la polémica, sino que se han planteado abiertamente desde el punto de vista profesional del autor.

1. EDIFICACIÓN MEDIANTE SISTEMAS CERRADOS DE PREFABRICACIÓN: RAZONES DEL DECLIVE DE SUS INVARIANTES TECNOLÓGICAS

"La prefabricación cerrada fue casi siempre el *modus operandi* del que se hizo uso cuando concurrían condicionantes excepcionales: plazos de ejecución muy estrechos; uso de tecnologías no siempre asimiladas; proyectos de arquitectura que de la noche a la mañana pasaban de estar gestados "en tradicional" a ejecutarse "en prefabricado"; un urbanismo de espaldas a la sociedad; reglamentos y normas en los que no se sospechaba la posibilidad de que "crecieran" tres mil o más viviendas en dieciocho meses; escaso presupuesto y beneficios generosos;... Estos condicionantes conformaron el contexto en el que se hizo uso poco afortunado de la construcción mediante sistemas de prefabricación cerrada. Hoy [1987] lo esencial se olvida y aparece genéricamente la prefabricación como culpable" (ver Fig. 1) (1) y (2).

La prefabricación es una de forma de materializarse el proceso de industrialización de la construcción, pero no la única (3). La

prefabricación pesada a base de grandes paneles de hormigón conformando sistemas cerrados de vivienda no es, en modo alguno, toda la industrialización de la edificación, aunque es cierto que el gran panel de hormigón fue de hecho el logotipo de la reconstrucción europea tras la Segunda Guerra Mundial (4) y (5).

1.1. Cuatro posibles períodos para el análisis de la evolución de la industrialización de la vivienda en Europa¹

A. Período 1950-1970: masividad, euforia y negocio

Los sistemas cerrados a base de grandes paneles fueron dominantes en la llamada "Europa del Este" y cuantitativamente importantes en los países que, en la época, conformaban la Unión Europea. En estas décadas los sistemas constructivos prefabricados impusieron de forma implacable (en pro de la economía y la urgencia) sus rutinas de actuación en mercados claramente de demanda:

- a) Exigencia de un mínimo del orden de mil viviendas agrupadas para intervenir con sistemas prefabricados (ver Fig. 2).
- b) Proyectos con mínimas variaciones formales para reducir el número de elementos diferentes.
- c) Bloques de tipología lineal de gran frente, con el pretexto de evitar el cambio de las vías para las grúas-torre de montaje (ver Figs. 3 y 4).
- d) Luces mínimas de forjados, para cumplir con los gálbidos de transporte que condicionaron las dimensiones máximas del tamaño de las habitaciones.
- e) Nula flexibilidad de distribución en planta: la tabiquería también se ejecutaba con paneles portantes de hormigón en las tipologías estructurales cruzadas (ver Fig. 5).

En general, la industrialización se le imponía al proyectista como una herramienta de economía de construcción, y el sistema constructivo, como un corsé incompatible con la arquitectura. Intentar modificar las rutinas de estos procesos equivalía, según los técnicos responsables de la época, a anular su competitividad.

Pese a éstos y otros condicionantes, cuando arquitectos e ingenieros actuaron desde el dominio técnico de los sistemas, los resultados mejoraron de forma muy sensible. A

modo de ejemplos, pueden citarse dos realizaciones de la época que el autor considera modélicas por sus aportaciones técnicas, estéticas y buen estado de conservación después de tres décadas de uso: La Grand Borne, París (6) y West Orminge, Estocolmo (7) (ver Figs. 6 y 7).

B. De 1970 a 1985: crisis y perplejidad

La prefabricación a base de sistemas cerrados de viviendas trató de salir del atolladero en que se encontró en los inicios de la década de los setentas, buscando en la fase de producción (incluso utilizando las mismas plantas de prefabricación pesada con modificaciones): flexibilidad, elasticidad y variación, apuntando en la dirección de hacer posible la consecución desde estas fábricas la meta de: series cortas y diversificación del producto (ver Fig. 8).

La crisis se agudizó. La Unión Europea pasaba de un mercado de demanda de viviendas en edificios en altura a otro de oferta de adosadas y unifamiliares, mercado en el que lo cualitativo empezaba a influir en forma importante. Algunos sistemas de grandes paneles se defendieron dando calidad, variedad y respondiendo a pequeñas demandas (100 viviendas agrupadas comenzaron a ser un pedido digno de ser estudiado), otros quedaron obsoletos y desaparecieron en la crisis.

1975: se agudizó el debate al considerar la prefabricación a base de sistemas cerrados de grandes paneles, como de primera generación de tecnologías de industrialización (ver Fig. 9) y se sentaron tímidas bases de la llamada industrialización abierta (8) y (9). Muchas y distintas, según los países, fueron las causas de estos cambios:

1. La crisis económica (1970-73) hizo que bajase el número de viviendas construidas de ocho por mil habitantes y año a cinco;
2. La proporción de viviendas unifamiliares, llegó a ser del orden del 50% de lo que se construía en Holanda, Francia, Reino Unido y países escandinavos y algunos



5



6



7

de los sistemas existentes se adaptaron mal a estas demandas;

3. El tamaño medio de las obras bajó de forma sensible. Las realizaciones de varios cientos de viviendas agrupadas prácticamente desaparecieron y en algunos casos incluso se prohibieron.
4. La crisis del petróleo impulsó normativas muy rigurosas que dejaron fuera de norma a no pocos sistemas de la llamada escuela francesa de grandes paneles.
5. El derrumbamiento en forma de “castillo de naipes” por una explosión de gas del “Ronan Point” en 1968 cerca de Londres, supuso un freno para la prefabricación en altura (10).

C. De 1985 a 2000: demoliciones provocadas y nuevos usos de la prefabricación. La construcción con componentes

Apareció con fuerza en Europa un nuevo fenómeno: el abandono, ocupación –vandálica en algunos casos– y posterior voladura controlada de miles de viviendas, prefabricadas en su mayoría, ya que esta técnica fue la forma constructiva dominante en las décadas previas.

En Gran Bretaña, a finales de los ochenta, se demolieron más de 140.000 viviendas.

Muchas habían sido construidas en el período de las entreguerras del pasado siglo, pero también, un porcentaje significativo habían sido construidas después de la Segunda Guerra Mundial.



8



9

5.- Estructura portante cruzada mediante grandes paneles de hormigón, sacrificando toda flexibilidad de distribución en planta en pro de la seguridad estructural. (Foto J. Salas).

6.- En “La Grande Borne”, Grigny-Paris, el arquitecto Aillaud utilizando grandes paneles “Costamagna” con elementos cerámicos revestidos de gresite, consiguió romper la linealidad de los bloques de viviendas mediante la utilización de gruas móviles y paneles de paramentos ligeramente curvos. (Foto J. Salas).

7.- El conjunto “West Orminge”, ejecutado con el sistema sueco Skarne, sobre calles peatonales, una arquitectura cuidada y un nivel de acabados resultado de una excelente producción, fue un hito a finales de la década de los sesenta. (Foto J. López B.).

8.- La normativa francesa de inicios de los setenta prohibiendo los proyectos de más de trescientas viviendas como forma de evitar las monótonas “ciudades dormitorio”, ocasionó algunas respuestas de interés por parte de sistemas cerrados clásicos, como la que se muestra: 300 viviendas en Villeneuve d’Ascq, Lille (Francia), 1974. (Foto J. Salas).

9.- Vista parcial de una de las grandes plantas de la Unión Soviética, capaces de producir hasta 25 viviendas/día, en las que las restricciones impuestas por la producción y normalización a ultranza de barrios completos, invalidaron muchas de las posibilidades de esta tecnología. (Foto J. A. Fernández O.).



10



11



12

10.- El conjunto de "Killingworth Towers" en Newcastle, Inglaterra, proyecto varias veces premiado como "nueva tipología de conjunto habitacional", en el momento de su demolición en 1987, con menos de veinte años de vida útil, por problemas fundamentalmente sociales. (Foto P. Kellett).

11.- Voladura controlada del 50% de los bloques de viviendas prefabricadas que conformaban un gran conjunto en Sarcelles, París, realizada durante el mandato del presidente Mitterrand que ocasionó un importante debate mediático sobre las "ciudades dormitorio". (Foto Rev. A.A.).

12.- Montaje seriado de una gran nave industrial de 300.000 m² construidos, totalmente prefabricada por la empresa Pacadar a razón de 1.000 m²/ día en Pinto (Madrid). (Foto J. Salas).

² La expresión "industrialización sutil" la propuso el autor en el trabajo: *Producción flexible versus producción masiva: arquitectura para grandes necesidades*. Revista: a + t, nº 10, págs. 22-33. Vitoria, 1997.

³ Las matizaciones que siguen fueron elaboradas por el autor en línea con las teorías del Profesor John Habraken que publicó en "Open House": *Flexibility, Interchangeability and Catalogues*. Holanda, 1982. Vol. 7, nº 1; págs. 4/15. (9).

La cifra oficial de viviendas construidas en la posguerra y que fueron planificadamente demolidas superó las 30.000 hasta 1998 (ver Figs. 10 y 11) (11).

Por contra, irrumpió con fuerza la prefabricación de edificios públicos: escuelas, hospitales, oficinas... La industrialización de la construcción de naves y polígonos industriales se ejecutaba mayoritariamente a base de grandes elementos prefabricados de hormigón (12) y el llamado "hormigón arquitectónico" –fachadismo, según expresión acuñada por el Seminario de Prefabricación– permitió prefabricar elementos impensables por formas y calidades hasta el momento (ver Figs. 12 y 13) (13-16).

D. Desde el 2000: consolidación de la industrialización sutil²

Como final de esta división de la práctica europea en el campo de la prefabricación masiva de viviendas, se sugiere este período abierto, y en forma más concreta entre 1990 y 2000, como embrión de una nueva filosofía constructiva, a la que el autor denomina industrialización sutil.

Los hechos enumerados en las etapas anteriormente descritas propiciaron que se comprobase que:

- 1.- Las tecnologías de producción de componentes resistían bien la crisis y se adaptaban mejor que los sistemas cerrados a las nuevas tendencias.
- 2.- Los componentes se introducían favorablemente en el creciente mercado de viviendas unifamiliares.
- 3.- La reducción drástica de obras de gran volumen penalizaba las tecnologías de hormigón e impulsaba el uso de componentes de otros materiales.
- 4.- La elasticidad de las soluciones constructivas a base de componentes hizo posible el cumplimiento de las nuevas normas de ahorro energético y las respuestas a otro tipo de arquitectura desde el lado de la demanda (ver Figs. 14 y 15) (17).

1.2. Enseñanzas y nuevos paradigmas

La práctica europea en la producción masiva de viviendas a base de sistemas cerrados de grandes paneles de hormigón, proporciona un buen número de errores en las técnicas y las políticas del contexto en el que se utilizaron –también algunos aciertos– que cuando menos, merecen una reflexión desde las condiciones concretas de su uso en cada caso (18):

- La industrialización de la construcción no es únicamente prefabricación.

- No es condición imprescindible contar con volúmenes de obra tan altos como los que se manejaban para utilizar sistemas cerrados.
- Los sistemas industrializados no pueden atender en forma eficiente cualquier tipo de pedido.
- Los volúmenes de inversión en plantas de prefabricación sufrieron una drástica reducción.
- No todas las diferencias dimensionales, formales o de acabados, tienen igual importancia desde el punto de vista de la producción, ni todos los elementos de igual apariencia tienen igual constitución.
- La grúa debe ser una herramienta al servicio de la edificación, no un axioma de partida.
- No resulta pertinente proyectar en tradicional y ejecutar en prefabricado.
- Los gálibos y medios de transporte influyen en los procesos de construcción prefabricada, el reto está en doblar su influencia con soluciones tecnológicas.
- El radio de acción de las plantas de prefabricados se incrementó con la mejora de las redes de transporte.
- Conviene meditar la decisión sobre el peso máximo de los elementos a utilizar.
- Se restringió la solución "todo-hormigón" en las realizaciones de viviendas.
- La estrategia sectorial se clarificó: los prefabricadores dejaron de ser constructores y pasaron a ser industriales.

2. ENUNCIADOS DE LA PRÁCTICA ACTUAL: LA INDUSTRIALIZACIÓN A BASE DE COMPONENTES³

Al margen de utopías más o menos lejanas, el autor entiende por industrialización abierta la posibilidad cierta de que componentes complejos de distintas procedencias y generados con diferentes formas de producción, bajo directrices de proyecto redactadas con mentalidad y disciplina industrial, procipien como resultado, espacios construidos mayoritariamente a base de componentes producidos por empresas distintas (ver Fig. 16).

Elementos funcionales

Elemento funcional o unidad de proyecto puede entenderse como grupo de variables que deben ser objeto de decisiones conjuntas de diseño. Estas unidades de proyecto tienen una correlación en la descomposición de un edificio en elementos funcionales que pueden materializarse mediante componentes industrializados. Un tramo de escalera, por ejemplo, es una unidad de proyecto que ha de facilitar el traslado vertical de personas y cosas en el edificio,

pero también puede entenderse como un componente específico de origen industrial (ver Fig. 17). La Organización Internacional de Normalización (ISO) define los componentes de construcción como “productos fabricados a modo de unidades distintas, dispuestas para entrar a formar parte en la construcción de una obra”.

Estereotomía del edificio

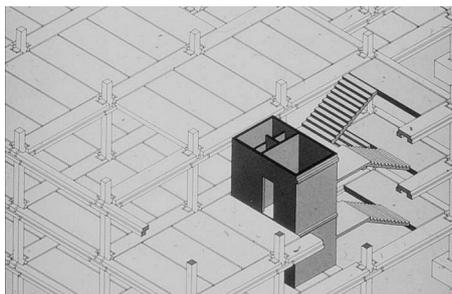
Por razones estrictamente metodológicas, se propone distinguir claramente para una construcción en altura entre edificio y vivienda. Entendiendo por edificio, a efectos únicamente de este trabajo, aquellas partes que colaboran al desarrollo de las funciones que se encomiendan al interior de la vivienda, y que permiten la ubicación de éstas, –de las vivienda–, y que facilitan su acceso. Por vivienda, se entenderá los espacios y equipos que están tras la puerta de acceso al espacio privado.

Componentes constructivos

El interés del componente en el contexto de la industrialización de la construcción, está precisamente en que suponen una renovación importante de formas, materiales, métodos de fabricación, resolución de juntas... Renovación, que, en muchos casos, es la actualización de soluciones ya utilizadas por la industria del aluminio, del plástico, de los laminados de madera y que cada día se acercan más al sector construcción (ver Fig. 18).

Compatibilidad universal

Los componentes no irrumpen milagrosamente en el mercado. Negamos por utópica la compatibilidad universal entre componentes, no obstante, los hechos demuestran la existencia de una compatibilidad acotada, delimitada, posible, que por supuesto no es espontánea. La industrialización abierta es una meta en cuya implementación las administraciones pueden tener un importante papel que jugar como impulsores, animadores y coordinadores de iniciativas, sin abrumar a los procesos de naturaleza empresarial ni tratar de normalizar en exceso por la vía del obligado cumplimiento (ver Fig. 19).



18



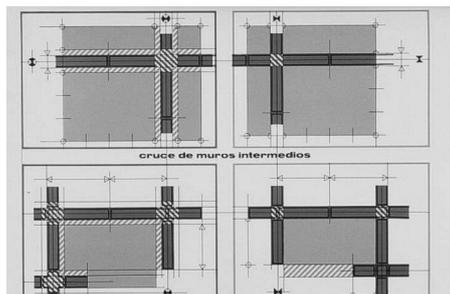
13



17

Componentes específicos y autónomos

Por componentes específicos pueden entenderse los fabricados por una empresa deter-



19



14



15



16

13.- Edificio emblemático en el momento de su ejecución (año 1971) al inicio de la utilización de fachadas “singulares” prefabricadas, mediante el empleo de vibrado por “choques”, moldes de fibra de vidrio y cemento blanco, construido en Rennes (Francia). (Foto J. Salas).

14.- Parque de almacenado de losas de forjado aligeradas realizadas en pistas continuas de pretensado. Se estima que en la actualidad (año 2007) se producen en Europa del orden de 40 millones de m² por año, con espesores entre 15 y 40 cm de espesor y luces de hasta 18 m (Foto CIB).

15.- La diversificación de medios de elevación de elementos y de bombeo de hormigón, generalmente desde vehículos sobre neumáticos, han cambiado la organización del montaje de las obras y han proporcionado flexibilidad a los proyectos. (Foto Prefabricados Castelo).

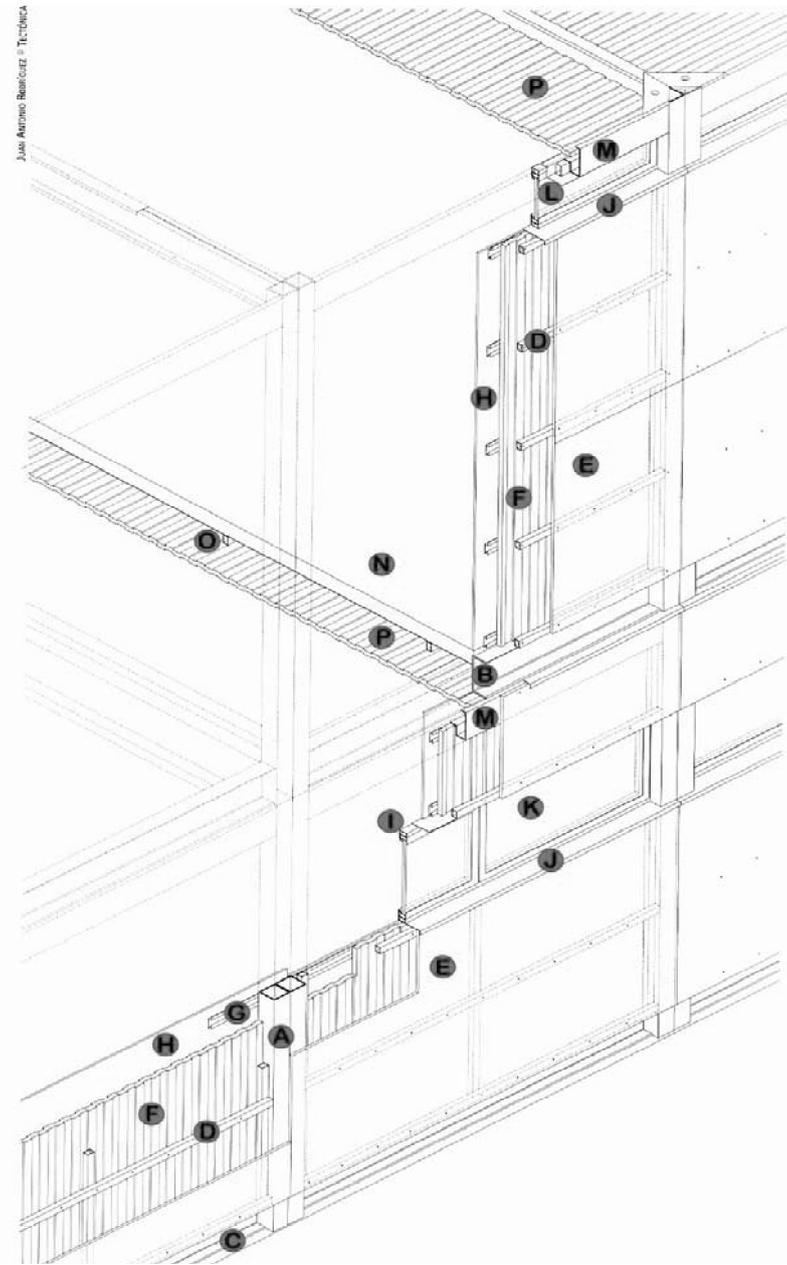
16.- Un claro ejemplo en Bélgica, de un bloque de viviendas proyectado por L. Kroll (17) que suele presentarse como logotipo representativo de lo que se ha nominado como “industrialización sutil”. (Foto L. Kroll).

17.- Materialización del elemento funcional “comunicación vertical”, que en el caso mostrado se ha realizado mediante componentes de origen industrial y que resuelve en su totalidad la unidad de proyecto “escalera interior”. (Foto J. Salas).

18.- Delimitación de la parte común de la construcción que conforma el edificio, separado de la parte privada que se trata como vivienda. (Imagen J. Salas).

19.- A modo de muestra, algunos esquemas de la resolución modular de cruces entre tabiques no portantes que forman parte de las propuestas francesas de la ACC, Asociación de Componentes Constructivos. (Toma-

esquema a



(Imagen tomada de la Rev. Tectónica, Monografía 7).

LEYENDA DE LA AXONOMETRÍA DE LA FACHADA:

- A.- montantes de acero conformados en frío;
- B Y C.- perfiles upn de 220 y 150;
- D.- subestructuras tubulares de acero;
- E.- tableros contrachapados hidrófugos (galvanizados por ambas caras y aislamiento rígido interior);
- G.- "omegas" de acero galvanizado;
- H.- placas de yeso-cartón;
- I.- carpintería de acero doblada en frío
- J.- chapa galvanizada de 3 mm conformando el alféizar;
- K.- vidrio 6+6 con butiral transparente;
- L.- vidrio 6+6 con butiral opal;
- M.- chapa galvanizada conformando canalón;
- N.- forjado mixto de chapa grecada y hormigón;
- O.- perfilera de acero de chapa grecada;
- P.- panel sándwich de 30 mm galvanizado en ambas caras y aislamiento interior rígido (20) y (21)

minada, de manera que puedan combinarse entre ellos en diferentes formas permitiendo soluciones constructivas variadas, pero siguiendo reglas rigurosas y bien definidas, de carácter interno. Componentes autónomos, por el contrario, pueden producirse potencialmente de forma más o menos parecida por diferentes empresas y son susceptibles de ser empleados fuera o dentro de un sistema, en cualquier tipo de uso, atendiendo únicamente los condicionantes de su propia función.

Diversificación de empleo de componentes

Aceptadas las anteriores acotaciones conceptuales, es fácil llegar a la receta (19):

$$\Sigma \hat{a} \text{ (Componentes específicos + Componentes autónomos)} = \text{= Sistema constructivo industrializado.}$$

Se enuncian seguidamente cuatro procesos o niveles de construcción a base de componentes industrializados:

Sistemas cerrados: los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio sistema. responden únicamente a reglas de compatibilidad interna y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse en forma no necesariamente sumisa a los condicionantes del sistema.

Empleo parcial de componentes: la gama de productos y prestaciones es más o menos fija admitiéndose ciertas variaciones dimensionales o de pequeña entidad. su empleo no requiere un grado de industrialización determinado de sus realizaciones y pueden utilizarse en obras o proyectos claramente tradicionales.

Sistemas tipo mecano: son resultado de la evolución hacia una apertura "acotada" de los sistemas cerrados, preparados para combinarse en múltiples soluciones suministradas por distintos productores que respetan voluntariamente un lenguaje combinatorio definido y acotado.

Sistemas abiertos: constituidos por elementos o componentes de distinta procedencia aptos para ser colocados en diferentes tipos de obras, industrializadas o no, y en contextos diversos. Suelen valerse de juntas pretenciosamente universales; gamas modulares acotadas; flexibilidad de proyecto prácticamente total, etc. (Ver. esquema a).

Tabla 1

Autoría de la Tabla 1: Aguiló, M. y Salas, J.

		CON EL HORMIGÓN FRESCO EL PANEL:				
		FIJO	MOVIL			
PROCEDIMIENTO DE COLOCACION DEL HORMIGON	SPRAY	B.R.S. (Ver 4.2)				
	BOMBEO	BATERIA TIPO BALENCY		SERIE	UN MOLDE POR PANEL	
	VERTIDO	KESTING Y SIMILARES	PREFABTECH (Fig. 1)			
		BATERIAS CLASICAS	BATERIAS POLACAS (Fig. 2)	PARALELO		
		MESAS FIJAS Y BASCULANTES (Fig. 3)	JESPERSEN, HAMMERS... (Figs. 4, 5 y 6)	CIRCUITO HORIZONTAL PARALELO		
			ELEMATIC, KESTING, SIPOREX... (Fig. 7)	CIRCUITO VERTICAL PARALELO		
		SISTEMA KROG (Fig. 8)	PROCEDIMIENTO GUILLOTEAU (Fig. 9)	SISTEMA CIRCULAR		
		SISTEMAS CLASICOS	NUEVAS FACTORIAS	AGRUPACION ARBITRARIA		
		MESA UNIVERSAL (Fig. 10)	VIBROLAMINACION: KOSLOV (Fig. 11)	PRODUCTO DISCONTINUO		
	EXTENSO-COMPACTACION	SPANMAX Y SIMILARES		PRODUCTO CONTINUO		
		ROTH, VARIAX, WEIMER...	SPANDECK (Ver 4.3)			
	EXTRUSION	SPIROLL Y SIMILARES		MOLDE CONTINUO (PRECISA CORTE)		HORIZONTAL
	PRENSADO		GO-CON (Ver 4.4)			

3. BASES TECNOLÓGICAS Y DE MERCADO QUE FACILITARON EL CAMBIO DE PARADIGMAS

3.1. Evolución de las técnicas de producción: de la fabricación de sistemas cerrados a la producción de componentes

Ante la "crisis", las técnicas de producción de grandes elementos prefabricados de hormigón propiciaron el paso de la producción de todas las partes de la vivienda –sistemas cerrados– a la producción seriada o de catálogo de componentes o partes de edificios.

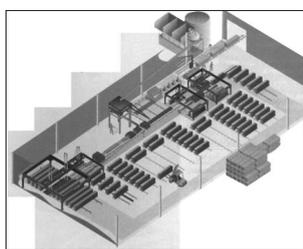
Paulatinamente, los productores y la ingeniería –“prefabricadores” y constructores– ocuparon el centro de gravedad de las relaciones entre los actores del proceso constructivo.

El transporte interno condicionante de la organización de la producción

El funcionamiento de una planta de producción de grandes elementos de hormigón supone el movimiento de una serie de equipos, materiales y productos entre varias zonas en las que se almacenan, manipulan o transforman (22) y (23). Puede resultar oportuno distinguir las siguientes zonas:



20



21

dos de ACC).

20.- Vista parcial de una planta automatizada en Salvador de Bahia (Brasil) para producir elementos de "ferrocemento" o "argamasa armada". La organización y limpieza del proceso productivo, llevan a corroborar el axioma adoptado por el autor: el índice de industrialización de una obra o proceso de producción suele ser inversamente proporcional al peso de los escombros y de materiales inutilizados. (Foto J. Salas).

21.- Los prefabricadores recurrieron a la ingeniería de organización de procesos tratando de: flexibilizar la producción; utilizando zonas específicas para tareas concretas (hormigonado, vibrado, curado, acabados...), buscando productividad... tratando de ofrecer calidad de producto y de servicio. (Imagen del CIB).

- Acopios de materias primas y almacenes de elementos de incorporación. Clasificador de áridos, silos para cemento, depósitos de agua, almacén de acero, etc.
- Preparación de productos semielaborados. Dosificación y amasado de hormigón, talleres de ferralla, talleres de carpintería de huecos, zona de preparación de instalaciones eléctricas, etc.
- Fabricación de paneles. Puestos de vibrado, curado, hormigonado, alisado...
- Zona de repasos y acabados. Pintura, tratamientos superficiales, incorporación de carpintería, vidriería, instalaciones, etc.
- Parques de productos terminados. Apilado, carga, expedición, etc.
- Talleres. Preparación y reparación de moldes y costeros, mantenimiento de equipos, etc.
- Oficinas y servicios. Dirección técnica, estudios, comedores, vestuarios, etc. (ver Figs. 20 y 21).

El transporte de equipos, materiales y productos es condicionante básico para la organización en planta de la fabricación.

En un trabajo con M. Aguiló (24) se abordó una clasificación de procesos de producción, resultado de investigar los condicionantes básicos que definían los procesos de fabricación.

Conceptualmente, se optó por los tres grupos de aspectos que siguen, en base a los cuales se delimitaron las 26 posibilidades diferentes que se plasman en la Tabla 1 (página anterior), según:

- A) Procedimiento de colocación del hormigón:** spray; bombeo; vertido; extenso-compactación; extrusión; prensado;
- B) Posición de los moldes:** verticales u horizontales (con un panel por molde o un molde continuo);
- C) Según que el molde con el hormigón fresco sea:** fijo o móvil. (Ver Figs. 22 y 23).

La evolución de los procesos de producción de elementos prefabricados (25) y (26), para adecuarse al cambio de la demanda, en opinión del autor, adoptaron las siguientes pautas:

a. Respecto a la organización de la producción:

1. Flexibilidad en la fabricación del producto:
 - Atención creciente a pedidos de pequeño volumen.
 - Productos adaptables a varios tipos de construcciones.
 - Mayor número de elementos distintos por vivienda.
 - Producción de elementos cada vez más complejos y de mayor valor añadido.

2. Mayor dotación de medios en las plantas de producción (ver Figs. 24 y 25):

- Mejor disposición funcional de los medios de producción.
- Previsión de futuros cambios de tipologías de elementos producidos.
- Atención al empleo de medios susceptibles de usos alternativos.
- Mecanización y automatización de tareas.

3. Economía de mano de obra (ver Fig. 26):

- Organización racional del trabajo.
- Simplificación en la incorporación de prestaciones a los elementos.
- Disminución de las tareas manuales de acabados y repasos.

4. Tendencia a la búsqueda de productividad tanto en calidad del producto como del servicio.

b. Respecto a los medios de producción en sí:

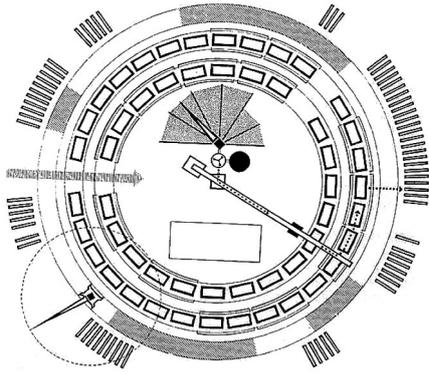
1. Plantas de hormigón de gran capacidad y amplia gama de posibilidades de dosificación y creciente precisión.
2. Menores recorridos para el hormigón fresco.
3. Creciente atención a la homogénea distribución de hormigón en el molde.
4. Abandono de las mesas de costeros fijos.
5. Concentración en zonas insonorizadas de las estaciones de hormigonado y vibrado.
6. Tendencia a prescindir del vibrado mediante la utilización de hormigones especiales autocompactables.
7. Búsqueda de nuevos procedimientos capaces de reducir al máximo el tiempo muerto del fraguado del hormigón.
8. Concentración de la fase de curado en una o varias zonas aisladas para evitar pérdidas de calor.

3.2. Las juntas, invariantes de la construcción industrializada: de la estereotomía del edificio a la recomposición de la continuidad⁴

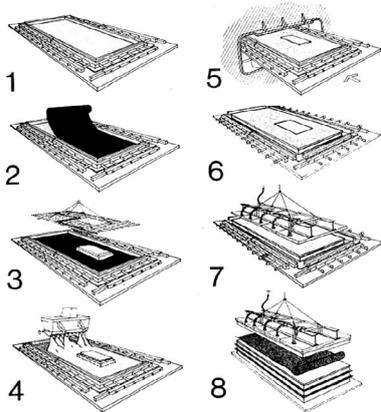
Principios generales y tipologías de juntas

Bajo la denominación de juntas, pueden entenderse las zonas prácticamente lineales de contacto entre elementos más o menos planos en las que es preciso reconstruir la continuidad entre elementos contiguos. Continuidad que debe o puede ser, entre otras: estructural, térmica, acústica, de es-

⁴ Por la importancia del tema, se cita como bibliografía de interés; Seminario SIA, (28); Gruanu, (29); Graff, (30); Anderson, (31) y UEAtc (32).



22



23

tanqueidad al agua y al aire, estética, etc. Las juntas, a diferencia de los apoyos, se caracterizan por su escasa anchura y profundidad y gran longitud.

Las juntas pueden clasificarse, por su posición:

- Entre elementos de la misma naturaleza y función.
- Entre elementos diferentes.
- Entre partes del edificio.

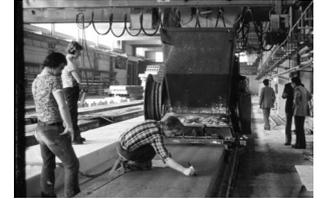
Las juntas han de situarse allí donde sean precisas. Hay quienes definen (27) las juntas como fisuras premeditadas. Para su ubicación existen razones de orden tecnológico, de fabricación, de transporte, de montaje y / o condicionantes estéticos.

Las juntas deben diseñarse y ejecutarse para asumir:

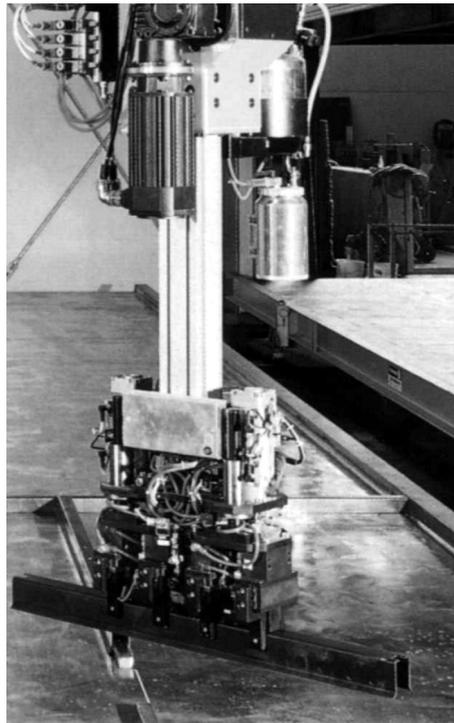
- Variaciones de temperaturas.
- Modificaciones propias de los materiales empleados en los elementos contiguos.
- Modificaciones de forma por efecto de las cargas.
- Deben permitir ciertos movimientos de los elementos constituyentes.
- Cumplir con su función estructural transmitiendo solicitaciones.
- Garantizar la impermeabilidad a los agentes atmosféricos y ambientales.



24



26



25

La última función enunciada caracteriza lo que se entiende por juntas de estanqueidad, es decir, aquéllas que han de resistir los efectos debidos a las acciones del sol, lluvia, viento, polución ambiental, fenómenos de condensación y puentes térmicos. Tres tipologías o familias de resolución de juntas pueden cumplir estas condiciones con distinto planteamiento conceptual y funcional, de ellas, se comentarán sólo algunos rasgos básicos de las primeras (Tabla 2, página siguiente):

- Juntas ventiladas,
- Juntas selladas mediante masticos,
- Juntas cerradas mediante perfil.

Juntas ventiladas: impermeabilidad frente al aire y al agua

Las juntas –horizontales y verticales– deben impedir toda posibilidad de penetración del agua. Para conseguir la impermeabilización de las juntas hay que considerar previamente los posibles mecanismos del movimiento del

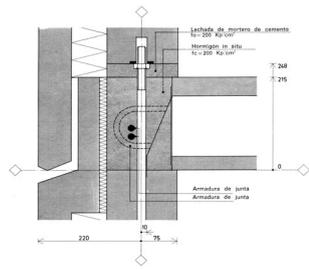
22.- A modo de ejemplo de organización de la producción a “cielo abierto”, el procedimiento “Guilloteau” (ver Tabla 1) utiliza una distribución circular basada en una grúa fija de gran potencia situada en el centro y una grúa pequeña sobre rieles circulares. (Foto J. Salas).

23.- El último de los procedimientos de producción que figuran en la Tabla 1, conocido como “Go-Con” consiste en la colocación del hormigón fresco mediante prensado (objeto de patente), moldes discontinuos horizontales e izado por succión de los elementos después de su curado en autoclave. (Foto J. Salas).

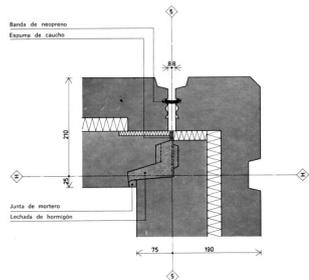
24.- Vista parcial de la fábrica brasileña ya aludida en la Fig. 20, correspondiente a la zona de dosificación, amasado y envío neumático del hormigón fresco según demanda específica de cada uno de los elementos del pedido. (Foto J. Salas).

25.- Equipo “robotizado” para la estampación de láminas de neopreno, que se utilizarán en los fondos de los moldes, para reproducir imágenes complejas con las que pueden obtenerse acabados de excelente calidad. (Foto D. Fernández O.).

26.- La producción continua de losas pretensadas, a razón de unos 3 m de longitud por minuto, permite para cada sección normalizada del elemento luces de dimensiones diversas.



SECCION E, 1:5 27



28



(Foto J. Salas).

27.- Detalle de la sección vertical de una junta horizontal entre dos paneles sándwich de fachada y una losa de forjado aligerada de hormigón armado. (Tomado de Nissen) (43).

28.- Detalle de la sección horizontal de una junta vertical abierta entre dos paneles sándwich de fachada de esquina. (Tomado de Nissen) (43).

29.- Vista de la resolución práctica de un esquina de edificio desplazando la junta vertical al paño longitudinal de la fachada, utilización de bandas de hormigón celular como cierre de puentes térmicos y pernos para la nivelación, en espera de los paneles de fachada de la planta superior. (Foto J. Salas).

Autoría de la Tabla 2: Salas, J. (2)

5 Los resultados de los ensayos realizados por Bishop y los del instituto de la construcción de Trondheim (Noruega), fueron (1988) de tal importancia práctica para la resolución de juntas abiertas, que en el equipo de trabajo 'Tecnologías para Viviendas de Muy Bajo Coste', fundado por el autor, se ratificaron los resultados de ambos en las instalaciones del I. E. Torroja.

Tabla 2

RECOPIACIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA RESOLUCIÓN DE JUNTAS	
1. Toda junta debe ser debidamente estudiada.	
2. Debe procurarse la estanquidad de una junta sólo si los elementos contiguos son estancos.	
3. Las juntas deben ubicarse en los sitios de menor exposición a las solicitaciones externas.	
4. La estanquidad debe practicarse por el lado expuesto.	
5. Si la obstrucción se realiza mediante varios dispositivos, la solución resultante debe formar un todo coherente. (Por ejemplo, deben de estar perfectamente resueltos los cruces entre juntas horizontales y verticales).	
6. Los productos de sellado y cierre en modo alguno han de pretender impedir los movimientos sino que han de ser capaces de 'acompañarlos'.	
7. Se recomienda prescindir de productos y materiales que no cumplan la condición anterior.	
8. Es necesario asegurar la calidad de la aplicación, razón por la que hay que asegurar un estricto control de calidad de la ejecución.	
9. No existen soluciones universales, pero toda junta tiene unas soluciones mejores que otras posibles.	
10. Ha de existir coordinación entre proyectistas, suministradores y aplicadores en busca de soluciones durables y funcionales.	

agua frente a una obra construida que son básicamente:

1. Por trayectoria debida a la gravedad y penetración directa.
2. Por proyección ocasionada por el aire en movimiento.
3. Por deslizamiento sobre superficies mojadadas.
4. Por ascensión capilar.
5. Por bombeo.

De forma muy concisa y sobre gráficos e imágenes resultados de trabajos y ensayos clásicos, se expondrán algunas de las particularidades de las formas de desplazamiento del agua sobre los paramentos (33).

Ensayos de Bishop⁵

Las juntas en los paramentos de todo cerramiento exterior presentan una clara tendencia a concentrar el flujo de descenso del agua de lluvia, que en cualquier caso es superior al flujo en forma de lámina de agua que fluye de forma más o menos homogénea sobre el panel durante la lluvia. Cuanto más lisos, menos absorbentes sean los paneles y mayores las distancias entre las juntas, más elevada será la concentración de agua en las mismas. La lluvia combinada con la acción del viento puede provocar la penetración de agua en las juntas horizontales. Diversos factores pueden contribuir a la penetración de agua en las juntas de los cerramientos prefabricados:

- a. La energía cinética propia de las gotas de agua de lluvia.

- b. La tensión superficial de la lámina de agua.
- c. La acción de la gravedad.
- d. El efecto de capilaridad.
- e. La simultaneidad de presión y capilaridad.
- f. Las diferencias de presión entre distintas capas del cerramiento.

Bishop, determinó, a través de ensayos experimentales, el comportamiento a la penetración del agua de diferentes perfiles de juntas abiertas horizontales y verticales. Las conclusiones prácticas de las experiencias realizadas por Bishop son de tal riqueza que resulta un trabajo de referencia imprescindible al tratar del diseño de juntas (27). Las Tablas 3 y 4 recogen cuatro secciones verticales de juntas horizontales abiertas y cuatro secciones horizontales de otras tantas juntas verticales, así como las cantidades porcentuales de agua que penetra a cuatro profundidades distintas.

El excelente resultado proporcionado por la cámara de descompresión, hace prácticamente obligada su existencia ya que por geometría, es posible asegurar que prácticamente no entrará agua desde el segundo segmento de profundidad, es decir, a partir de los 10,2 cm de penetración hacia el interior.

Ensayos de Trondheim

Los ensayos realizados en el centro noruego de investigación de la construcción en Trondheim, presentan un carácter más complejo que los estudios de Bishop ya que

Tabla 3

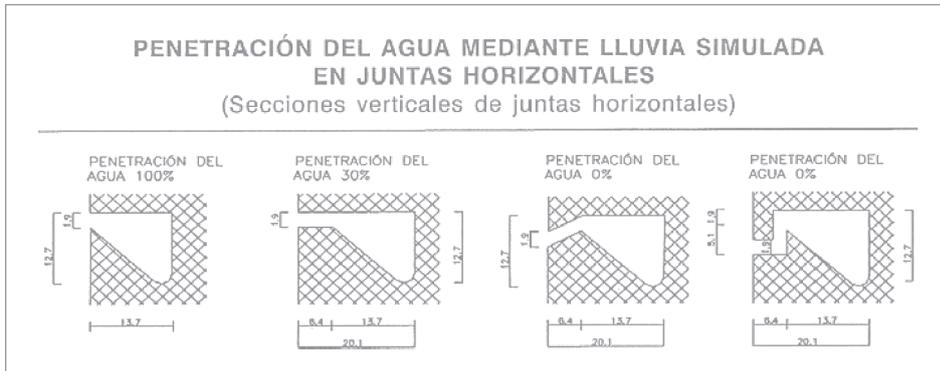


Tabla 4

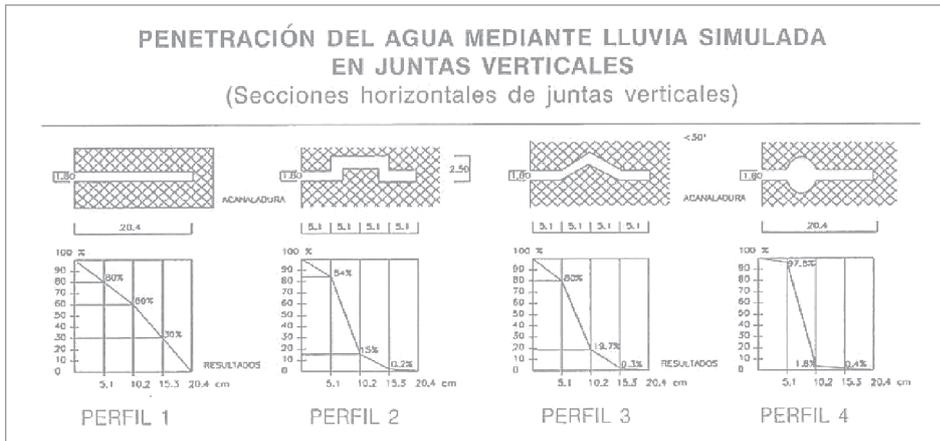
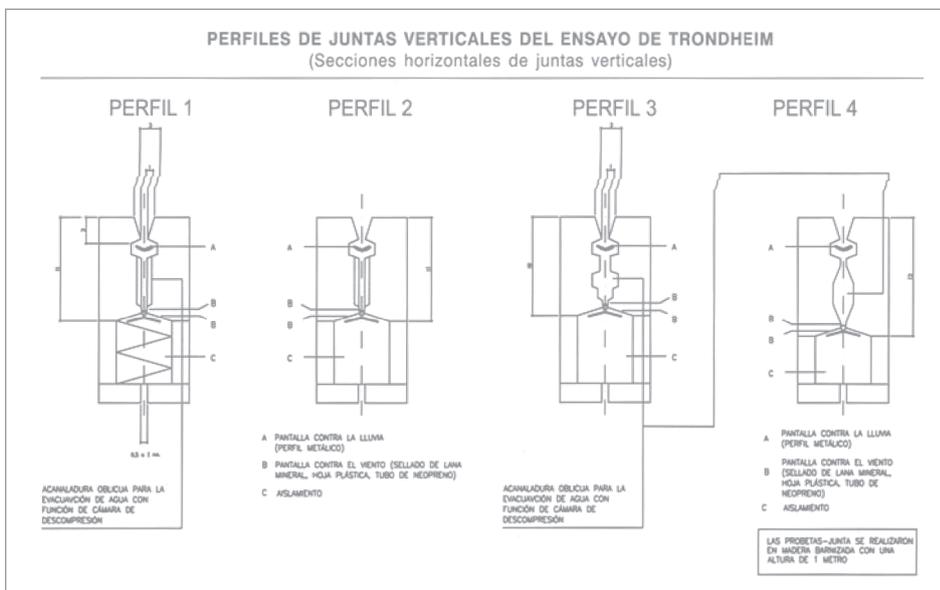


Tabla 5

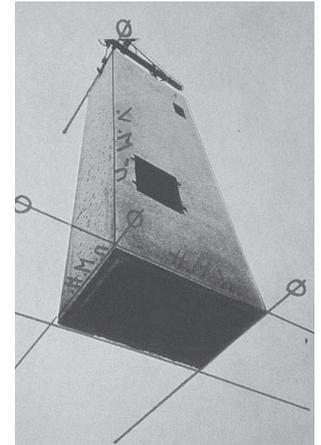


en éstos se evalúa de forma combinada la influencia de muy diferentes parámetros en las juntas verticales y horizontales (3).

La Tabla 5 presenta los cuatro perfiles de las probetas de las juntas verticales ensayadas, junto a su sección y características básicas. El objetivo de este conocido ensayo era medir la permeabilidad al aire y al agua

de cuatro juntas con geometrías distintas y acabados diferentes, sometidos a viento y lluvia artificiales.

El esquema b que sigue, recoge en forma gráfica las principales adaptaciones de las conclusiones derivadas de los ensayos realizados en Trondheim al diseño de las juntas ventiladas. Concretamente, se representa la



30



31

30.- Elemento prefabricado de conducción de basuras, presentado por la francesa Asociación de Componentes Constructivos, como un caso práctico de "módulo objeto". (Foto ACC).

31.- Edificio de oficinas en el puerto de Copenhague a base de grandes paneles de fachada autolavable en la que se diferencian claramente las tres zonas horizontales de "módulos objetos": el cuerpo medio como zona básica y las zonas específicas de basamentos y de coronación. (Foto J. Salas).

esquema e

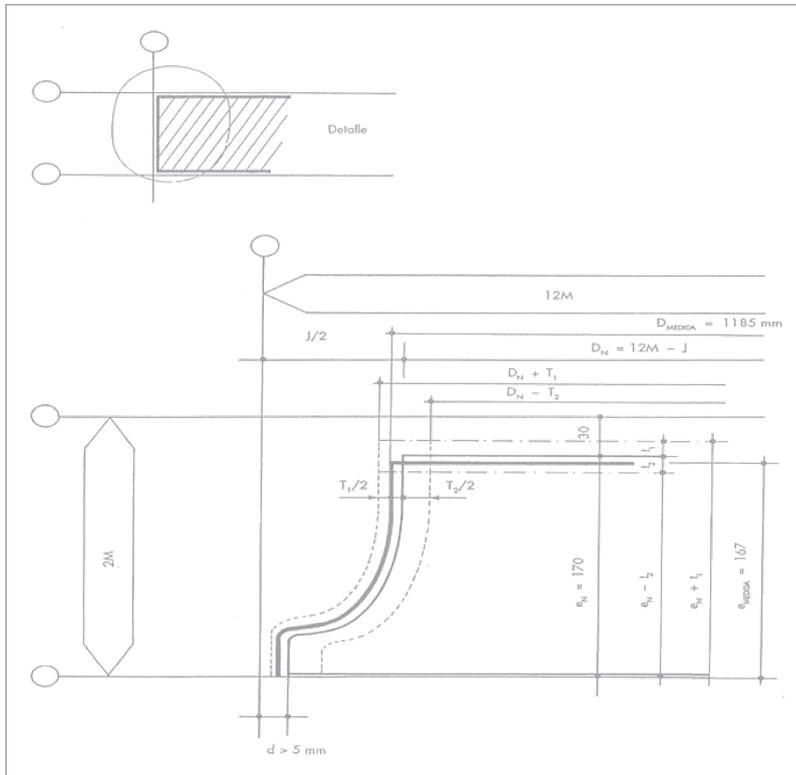


Tabla 6

Repercusiones porcentuales estimadas sobre el costo final de construcción de la ejecución de los diferentes elementos funcionales del edificio y las viviendas

ELEMENTOS FUNCIONALES DEL EDIFICIO	TIPOLOGÍAS EDIFICADAS	
	VIVIENDAS EN BLOQUES LINEALES TIPO A: Vivienda en «bloque lineal» de cuatro plantas, con dos viviendas por planta, superficie útil de 72 m ² , con eje de simetría longitudinal, tres dormitorios, estar-comedor, baño y cocina.	VIVIENDAS EN BLOQUES PUNTALES TIPO B: Vivienda en «bloque puntual», de ocho plantas, con cuatro viviendas por planta, superficie útil de 70 m ² , dos ejes de simetría, tres dormitorios, estar-comedor, baño y cocina.
1.- Excavaciones y cimentación	1,34	1,94
3.- Cubierta	3,68	2,26
5.- Estructura	8,75	9,96
6.- Vestíbulo, accesos y ascensor:	5,78	6,10
TOTALES DEL EDIFICIO	19,55	20,26
ELEMENTOS FUNCIONALES DE LAS VIVIENDAS		
7.- Elementos horizontales: Plano de contacto y muros sótanos:	15,88 24,15	15,35 22,91
8.- Elementos verticales (interiores):	16,33 10,54	14,03 11,72
9.- Elementos verticales (exteriores):	2,46 11,09	3,34 12,39
10.- Equipo de la vivienda: 11.- Terrazas y lavaderos: 12.- Cocina y baño:		
TOTALES DE LA VIVIENDA	80,45	79,74

con las siguientes funciones y posibles repercusiones porcentuales estimadas sobre el coste total de construcción (porcentajes estimados):

- 5.- Estructura (8,0%).
- 7.- Elementos horizontales (16,5%).
- 8.- Elementos verticales interiores (17,5%).
- 9.- Elementos verticales exteriores (17,5%).
- 10.- Equipo de la vivienda (9,0%).
- 12.- Cocina y baño (9,5%).

4. LA INDUSTRIALIZACIÓN SUTIL: NUEVOS PARADIGMAS

(La producción en series cortas y diversificadas: una meta por alcanzar)

Tres formas de producir pueden disccionarse con cierta nitidez, aunque abundan los casos híbridos: **bajo pedido, por lotes y continua o de grandes series**. La producción bajo pedido se acomoda bien a los casos particulares y específicos, y es sabido que en edificación, particularmente entre medianeras, gran parte de las realizaciones revisten estas circunstancias. Un ejemplo emblemático de este tipo de producción es el de fachadas singulares mediante prefabricación de encargo también conocido como “hormigón arquitectónico”. En estos casos el producto final suele ser resultado de pactos y claudicaciones mutuas entre arquitecto y productor (“prefabricador”) (20) (21) y (40).

La producción por lotes de productos estandarizados es la forma de producir del momento. En ella concurren los mayores esfuerzos para hacer realidad el binomio producto industrial-variedad. La meta es la producción rentable de lotes de elementos aparentemente idénticos aunque con ciertas características diferenciadoras, aplicando los principios de la producción continua a la fabricación de grupos de componentes similares (ver Fig. 34). “Es mucho más fácil organizar un ejército poniendo a sus componentes en bloques de diez individuos por banda, que organizar un grupo informal de individuos. Pero es evidente que sólo métodos e instrumentos más complejos pueden ofrecernos productos más complicados, susceptibles de ser asumidos y no meramente consumidos por el usuario”. Son reflexiones de Xavier Rubert de Ventós (3). **La producción continua o de grandes series** (no necesariamente en cadena) es la modalidad en la que aparece con mayor grado de simbiosis la producción en serie de lotes diferenciados. Realidad constatable hoy, pese a que tan sólo hace unas décadas era una quimera sustentada en la intuición de los pioneros que se adelantaban a su

tiempo y preveían que la industria podía hacer que la diversidad no fuese necesariamente un lujo.

En el campo de la producción industrial, las recientes aportaciones de los sistemas organizativos, la progresiva utilización de máquinas complejas (robotización) y la masiva utilización de equipos para el tratamiento de datos (informática), han modificado sustancialmente las técnicas de producción (ver Fig. 35). La informática penetra vigorosamente en las distintas etapas de la edificación, especialmente en sus procedimientos de cálculo, diseño, producción y también en la regulación de las instalaciones del edificio. Merece destacarse como fundamental, desde la óptica de los productores de componentes, el paso de la percepción del edificio como un todo, a su concepción más reciente como conjunto de técnicas y componentes con origen en la industria convencional, fenómeno de singular importancia.

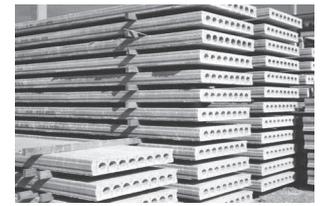
Jean Prouvé (41) (42), acertó plenamente vaticinando formas de producción de materiales y componentes constructivos que hoy son plenamente vigentes: "Las máquinas bien alimentadas por metales, plásticos reforzados, madera, vidrio, etcétera, saben producir deprisa y bien, componentes complejos, ligeros y de gran calidad, que pueden ser incluso económicos".

Del proceso que se expone, en nuestra opinión, se trata de una práctica sin soporte de teoría, que se muestra decidida en la utilización de una industrialización con méritos para nominarla de sutil. Industrialización sutil que responde a la utilización intensiva de partes producidas industrialmente en serie, que aportan cotas de valor añadido de procedencia industrial jamás conseguidas hasta el presente y que se incorporan a las

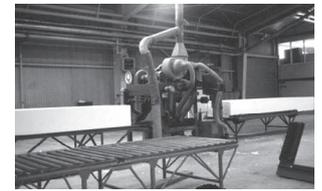
Tabla 7

La práctica de la Industrialización de la Edificación no es resultado del azar, sino de la concurrencia de muy diferentes tecnologías e impulsos.		
TENDENCIAS	CAMBIOS	RESULTADOS
A. Técnicas de producción de elementos.	Flexibilidad de los procesos de producción.	Series cortas. Series diversificadas.
B. Coordinación dimensional.	Menos académica, más práctica y heterodoxa.	De herramienta de proyecto a soporte de la producción. Del módulo medida al módulo objeto.
C. Diseño de juntas.	De cierres por sellado o perfiles al diseño tecnológico.	Resultados más fiables y durables.
D. Cambios de paradigmas básicos del sector.	De prefabricadores & constructores a consumidores de elementos.	La industria (química, aleaciones, vidrio, yeso, aislantes, carpintería de huecos, ...) irrumpe en el sector.
E. Mayor presencia y repercusión de la industria, en el costo final de construcción.	Concurrencia de materiales, técnicas y componentes.	El valor añadido de procedencia industrial supera a lo que representaban los sistemas cerrados de prefabricación pesada.
F. Fin de un falso dilema: arquitectura versus industria.	Equipos pluridisciplinarios de trabajo.	Una nueva disciplina: arquitectura industrializada &

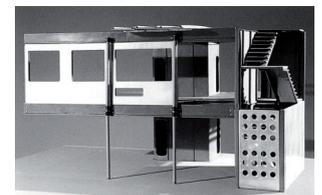
DEL EDIFICIO COMO UN TODO AL EDIFICIO COMO SUMA DE ELEMENTOS FUNCIONALES MATERIALIZADOS POR ELEMENTOS COMPLEJOS



34



35



36

obras con una decidida vocación de racionalización, pero que arrastran la asignatura pendiente de tener que responder a proyectos de construcción que aún están lejanos del espíritu de la industria. Sutil por la forma como apareció y se generalizó. No se anunció, tampoco fue resultado de decretos o de declaraciones universales, no se le puede fijar una fecha de partida de nacimiento, tampoco un desarrollo homogéneo ya que su ritmo es variable según países, regiones o gremios (ver Fig. 36).

La Tabla 7 intenta sintetizar los aspectos más sustantivos de los contenidos del trabajo expuesto.

(Esquemas d y e elaborados por el autor).

Autoría de la Tabla 6: Salas, J.⁶(39).

⁶ Se presentan estos resultados a modo de ejemplo orientativo como valores porcentuales del coste total de construcción, entendiendo que las posibles variaciones en las tipologías de viviendas dominantes no suelen ser ni bruscas ni sustantivas.

BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

- (1) Salas, Julián, 1987: "Tres realizaciones prefabricadas en Dinamarca, a una década de su ejecución", Informes de la Construcción, nº 337. IETCC, Madrid, 1987.
- (2) Salas, Julián, 1987b: Construcción Industrializada: Prefabricación, 356 págs. Ed. UNED, Madrid.
- (3) Seminario de Prefabricación, 1974: Prefabricación, Teoría y Práctica, 2 tomos, Edit. ETA, Barcelona.
- (4) Schmid, Thomas y Testa, Carlo, 1970: Systems Building. Edit. Artemis, Zurich, Suiza.
- (5) Morris A.E.J, 1978: Precast Concrete in Architecture, Edit. George Godwin Limited, 583 págs., U.K.
- (6) Aillaud, Emile, 1972, La Grande Borne a Grigny. Edit. Hachette, Paris. Emile Aillaud: "Une ville: Essai de reponse".
- (7) Curman, J. & Associates, 1969, A prefabricated low-rise housing estate, West Orminge, Boo Municipality, Estocolmo, Suecia.
- (8) Salas, Julián, 1981, Alojamiento y Tecnología : ¿Industrialización Abierta? 157 págs, IETcc -CSIC, Madrid.
- (9) Salas, Julián, 1982: "Flexibility, Interchangeability and Catalogues". Rev. Open House, Holanda, 1982. Vol. 7, nº 1; págs. 4 / 15.

34.- Parque de almacenamiento de losas prefabricadas para forjados que responden a la modalidad de producción por lotes. (Foto J. Salas).

35.- Fabricación continua de grandes volúmenes de poliuretano en el momento de su corte en piezas según el principio de producción bajo pedido. (Foto J. Salas).

36.- Maqueta para viviendas de dos plantas a base de elementos industrializados metálicos y de materiales "a medida" de procedencia industrial proyectada por Jean Prouvé. (Foto Clayssen).

- (10) CEB IV, 1973, Recomendaciones internacionales para las estructuras formadas por paneles, Edición castellana, Instituto Eduardo Torroja, Madrid. Traducido por J. Salas.
- (11) Kellett, Peter, 1992, "La experiencia inglesa con tecnologías industrializadas para viviendas sociales", Actas de la Asamblea CYTED sobre Construcción industrializada, I.P.T. de Sao Paulo, Brasil.
- (12) Calavera, José; Fernández, J., 1999, Prefabricación de edificios y naves industriales, Monografías INTEMAC, nº 4, Madrid.
- (13) P.C.I., 1976, Precast Concrete Institute, Fachadas Prefabricadas, Edit. Blume, 196 páginas, traducción : J. Salas, Madrid.
- (14) C.I.B. Comisión W.29, "1987, Tolerancias sobre defectos en el aspecto del hormigón", Informe CIB, nº 24, Instituto Noruego de la Construcción, Oslo.
- (15) A.C.I., 1991, American Concrete Institute, Manual Concrete Practice. Detroit.
- (16) Barth, Fernando, 1998, Las fachadas de hormigón arquitectónico y de G.R.C. en Cataluña, Tesis doctoral leída en la E.T.S. de Arquitectura de Barcelona.
- (17) Kroll, Lucien, 1987, Composants: Faut-il industrialiser l'architecture? Edit. Secorema, Bruselas, Bélgica.
- (18) Salas, Julián, 1997: "Producción flexible versus producción masiva: arquitectura para grandes necesidades". Revista: a + t, nº 10, págs. 22-33. Vitoria, 1997.
- (19) ACC, 1978, Association Construction et Composants, Conventions de coordination dimensionnelle, Edit. Moniteur, Paris.
- (20) Tectónica Rev. Monográfica, nº 5, Hormigón Prefabricado, Madrid 1997.
- (21) Tectónica Rev. Monográfica, nº 7, Juntas Secas, Madrid 1995.
- (22) Bergantiños José E. 1991, "Organización, producción, moldes, equipos, transporte y montaje", Tomo IV de los apuntes Técnicas Constructivas Industrializadas para V.M.B.C. en Latinoamérica, IDEC, Caracas, Venezuela.
- (23) Woolman, R., 1994: "Resealing of buildings. A guide to good practice". Butterworth Heinemann. Edit. Oxford.
- (24) Aguiló, Miguel; Salas, Julián, Técnicas de producción de paneles de hormigón, Rev. Materiales, Maquinaria y Métodos, nº121, Barcelona, 1975, págs. 3 / 14.
- (25) P.C.A., 1979, Portland Cement Association, "Design and control of concrete mixtures". Skokie.
- (26) Fernández Ordóñez, David, 2007, Ponencia "Prefabricación de la construcción", CEMCO 2007, Madrid.
- (27) Bishop, D., 1972, "Weatherproof joints between precast concrete panels", The Builder, Vol. 1, nº 5.
- (28) Seminario SIA, 1974, N. Herwegh y E. Berger, Comment fermer un joint avec un profilé? Edit. SIA, Zurich, Suiza.
- (29) Grunau, E. B., 1981, Les joints dans le Bâtiment. Eyrolles. París.
- (30) Graff, S., 1981: « Les Joints Structuraux et la Construction Industrialisée en Béton Prefabrique ». Industrialisation Forum, Julio 1981.
- (31) Anderson J. M. & Gil J.R., 1988, « Rainscreen Cladding. A guide to design principles and practices." Butterworths Kent. U.K.
- (32) UEATC, 1996, Monografía Nº 346 del Instituto Eduardo Torroja, Directrices UEATC para la apreciación técnica de las masillas de estanquidad, IET-CSIC, Madrid.
- (33) Garden, G. K, 1976, « Infiltration de la pluie et de l'air au niveau des joints ». Rev. Industrialisation Forum, Vancouver, Canadá.
- (34) Habraken, N. J., Soportes. Una alternativa a la vivienda masiva, Edit. G. Gili, Barcelona, 1976
- (35) Argan, Giulio Carlo 1969, Proyecto y Destino, Universidad Central de Caracas, Venezuela, 1969. Trabajo: "Módulo-medida y módulo-objeto".
- (36) NEN, 1987, Norma NEN 2883, Coordinación dimensional de la vivienda, Holanda.
- (37) BES, 1971, Tutkimus avoimen elementti, Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö, Helsinki.
- (38) Plan Construction, 1977, Participation a l'elaboration de la Regle du Jeu de l'industrialisation ouverte, Ministere de l'Equipement, Paris.
- (39) Moya, Luis, et alters. 2007, Grupo de Investigación de Vivienda Social de la ETSAM, Vivienda Reducida, Páginas: 214, Edit. Mairea. Madrid
- (40) Salas, Julián; P. Arroyo, Salvador, et alters. 1991: Arquitectura - Industria. Páginas: 253, Editorial: PRONAOS, Madrid.
- (41) Clayssen Dominique, 1983, Jean Prouvé: Une architecture par l'industrie, Artemis, Zurich, 1971 y Jean Prouvé: //idée constructive, Dunod, París.
- (42) Mardaga Pierre, 1997, Prouvé, Cours du CNAM, Edit. Mardaga, 301 págs. Paris.
- (43) Nissen, Henry, 1976, Construcción industrializada y diseño modular, 478 págs. Versión en castellano. Edit. Blume, Madrid.

* * *