

LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN LA EDIFICACIÓN. PROCEDIMIENTOS PARA SU INDUSTRIALIZACIÓN

(THE EVOLUTION OF CONSTRUCTION SYSTEMS IN BUILDING. INDUSTRIALIZATION PROCEDURES)

J. Monjo Carrió, Dr. Arquitecto. Director del IETcc

Fecha de recepción: 23-XI-05

ESPAÑA

800-5

RESUMEN

Se lleva a cabo una revisión de la evolución de los sistemas constructivos a partir del 2º cuarto del siglo XX, como consecuencia del abandono de las estructuras murarias y la aparición de nuevos materiales. Se analiza la repercusión de dichos cambios en la funcionalidad constructiva de los sistemas (principalmente estructuras, fachadas y cubiertas) a partir de la consideración de la arquitectura como una arte funcional.

Se plantea la industrialización y sostenibilidad de los nuevos sistemas a partir de la racionalización de los procesos constructivos, teniendo en cuenta las distintas fases (producción de materiales, ejecución, uso y mantenimiento). Finalmente, se exponen las líneas básicas de un futuro deseable.

SUMMARY

The article contains a review of the evolution of construction systems since the second quarter of the twentieth century in response to the move away from bearing wall structures and the advent of new materials. The impact of such changes on system (primarily structure, facade and roof) constructional operability is analyzed from the vantage of architecture as a functional art.

The industrialization and sustainability of new systems are broached in the framework of construction process rationalization, bearing in mind the different phases (material manufacture, building, use and maintenance) involved. Finally, the basic features of a desirable future are outlined.

1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de entrar en el análisis de los sistemas y procedimientos constructivos, definamos los conceptos básicos contenidos en el título del presente trabajo y que nos pueden ayudar a entender mejor el contenido del mismo.

1.1. Sistema constructivo

El término *sistema* tiene, en el diccionario de la Real Academia, dos acepciones principales:

1. “Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí”
2. “Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto”

En nuestro caso, podemos entender por **sistema constructivo** el conjunto de elementos y unidades de un edificio

que forman una organización funcional con una misión constructiva común, sea ésta de sostén (estructura) de definición y protección de espacios habitables (cerramientos) de obtención de confort (acondicionamiento) o de expresión de imagen y aspecto (decoración). Es decir, el sistema como *conjunto articulado*, más que el sistema como *método*.

En este sentido, cabe recordar que los sistemas suelen estar constituidos por **unidades**, éstas, por **elementos**, y éstos, a su vez, se construyen a partir de unos determinados **materiales**.

Requieren un **diseño**, para lo cual se debe atender, en primer lugar, a las exigencias funcionales de cada uno y a las acciones exteriores que van a sufrir, además de tener en cuenta las posibilidades de los materiales que se utilicen, en función de sus calidades y, por tanto, de su vulnerabilidad.

Van evolucionando con el tiempo, tanto en los materiales utilizados, como en las soluciones de diseño, y pueden mejorar gracias a la correcta aplicación de la “*Ciencia de la construcción*”.

1.2. Procedimiento constructivo

En este caso, nuestro diccionario define *procedimiento* como “*Método de ejecutar algunas cosas*”. Así pues, podemos entender el **procedimiento constructivo** como el conjunto de técnicas que se utilizan para edificar cualquiera de las unidades que constituyen los sistemas constructivos.

Es, pues, un concepto relacionado con la técnica de construir en cada caso y que, por tanto, pueden evolucionar con el tiempo, y permiten avanzar en la innovación y la mejora de los edificios y su proceso de construcción.

1.3. Industrialización de la construcción

Es un concepto algo complejo, que intenta definir la posibilidad de aplicar determinados sistemas (métodos) de *producción industrial* al proceso constructivo, entendiendo por tal el camino de producción que va desde la concepción y proyecto del edificio, hasta su ejecución y posterior mantenimiento.

Cabe recordar que cada edificio podría entenderse como un *prototipo*, y como tal se considera en la mayoría de ocasiones, por lo que no tendría sentido hablar de una “producción industrial de edificios”, sino de un “**proceso industrial para la ejecución de edificios**”, lo que conlleva una serie de opciones:

- *Producción industrial de elementos constructivos*, lo que se lleva a cabo en muchas ocasiones, sobre todo en los casos de “prefabricación”
- *Proceso racionalizado y eficiente de ejecución en obra*, con técnicas industriales que faciliten las operaciones y reduzcan la incidencia de la mano de obra, con una coordinación modular de los proyectos para facilitar el montaje con el uso de elementos de catálogo
- *Proceso industrializado de producción de unidades espaciales*, que se montan en obra

En este sentido, se han experimentado diversas evoluciones a lo largo de las últimas décadas, desde el final de la 2ª Guerra Mundial, con momentos de mayor auge, seguidos de olvidos de esos planteamientos, pero en realidad la necesidad permanece, lo que hace que periódicamente vuelvan a sugerirse soluciones “industrializadas”; en la actualidad se está iniciando un nuevo período de auge de esas propuestas.

2. LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Considero que la evolución de los sistemas constructivos de edificios que nos afecta en la actualidad, se inició en el primer cuarto del siglo XX a partir de la introducción generalizada de dos tipos de técnicas.

- El abandono de las estructuras murarias para pasar al uso continuado de las estructuras reticulares (pilares y vigas)
- El olvido de los sistemas pasivos de acondicionamiento (inercia térmica, aireación, control de sombras, etc.) para pasar al uso masivo de los sistemas de acondicionamiento electromecánicos

A ello hay que añadir la proliferación de una serie de materiales sintéticos que parecía que facilitaban la respuesta funcional de los edificios; de entre ellos, los más destacados serían:

- Elementos metálicos protegidos contra la oxidación y materiales más compactos, que permitían pasar de las fachadas “esponja”, que regulaban la filtración del agua de lluvia mediante su absorción temporal, a las fachadas “impermeable”, con bajos coeficientes de succión, que simplemente evitaban la filtración
- Los sellantes para juntas (sobre todo de silicona) que han hecho olvidar la buena práctica del solape y del drenaje de relieves en fachada por inclinación de los planos
- Las láminas impermeables, que han facilitado la proliferación de las cubiertas planas frente a las inclinadas

Veamos con cierto pormenor esos cambios.

2.1. Cambio de los sistemas estructurales

Los sistemas constructivos en nuestra zona geográfica y en nuestra cultura tecnológica se han basado casi exclusivamente, hasta principios del XX, en las estructuras murarias que, al mismo tiempo, hacían la función de cerramientos verticales, tanto de fachada como de partición interior. Podemos considerar la excepción de los muros de entramado, de procedencia celta y sajona, que, en cualquier caso, se convertían en muros portantes y se ocultaba su composición, así como los pilares y vigas de madera en porches.

Los primeros intentos de abandono de esas estructuras se produjeron con la industrialización de los perfiles metálicos a fines del XIX, tanto de fundición como laminados, que permitieron ejecutar estructuras reticulares más ligeras, cuando la altura de los edificios lo necesitaba.

Pero la verdadera aplicación masiva de ese tipo de estructuras llegó con el hormigón armado, a partir de los años 40 del siglo pasado, y la mejora continuada de sus capacidades portantes, así como de sus métodos de cálculo. Todo ello permitió eliminar los cerramientos portantes, más pesados ($>700 \text{ kg/m}^2$) aligerando el conjunto del edificio, reduciendo su costo y aprovechando más el metro cuadrado de suelo edificable.

Sin embargo, introdujo una serie de inconvenientes que no se tuvieron en cuenta hasta que no empezaron a aparecer los primeros problemas patológicos, debidos, entre otras causas, a la mayor movilidad (*deformabilidad*) de estas nuevas estructuras por su mayor elasticidad. Veamos algunos de los más importantes.

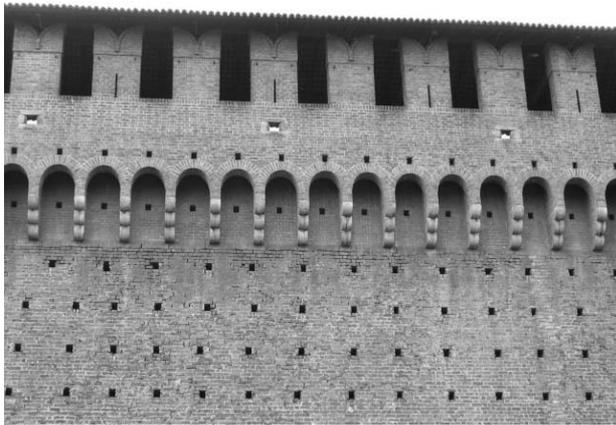


Figura 1.- Muros de carga de fábrica.



Figura 2.- Sistema murario de entramado.



Figura 3.- Pilares y vigas de madera.



Figura 4.- Estructuras de hormigón; pilares, vigas y muros.

2.1.1. Unión estructura-fachada

En las estructuras de muros portantes sólo existe la unión de la estructura horizontal con la fachada, estando aquella apoyada en ésta; dicha unión funciona normalmente como un apoyo o un semi-empotramiento, que ayuda a estabilizar el muro de la fachada gracias a la carga que le transmite, y no suele presentar más problemas que la posible movilidad de la estructura horizontal en las últimas plantas, sobre todo cuando no existe un adecuado recubrimiento exterior de dicho apoyo.

Sin embargo, con las estructuras reticulares y la fachada apoyando en ellas, cuando ésta es de fábrica, sí se presentan numerosos problemas de cálculo y ejecución. Veamos:

- El apoyo de la fachada en la estructura elimina la estabilización por carga de aquella, máxime si es de poco espesor ($\frac{1}{2}$ pie de ladrillo, bloque de cemento de 15 cm) resultando más expuesta a presión y succión de viento, así como a los efectos

de dilataciones y contracciones por variaciones de humedad y temperatura

- El apoyo se suele reducir a un espesor inferior al de la propia fábrica para dar una imagen de continuidad, similar a la de los muros portantes, lo que introduce un nuevo factor de debilidad en la unión, facilitando su pandeo, tanto horizontal como vertical, y posibilitando su pérdida de apoyo. Por otra parte, dada la inevitable irregularidad del frente de los forjados, en muchas ocasiones el apoyo es inexistente
- Los movimientos elásticos de la estructura de apoyo (flecha y torsión) introducen tensiones en la fábrica de cerramiento para la que, en general, no está diseñada, provocando roturas (grietas) de diversos tipos
- Aparecen también posibles puntos conflictivos entre la fachada y los pilares, sobre todo cuando éstos invaden el espesor de la fábrica, ya que de algún modo, la debilitan
- En general, la interrupción de la fábrica de fachada en su encuentro con los elementos estructurales, obliga a una interrupción de la capa aislante, lo que posibilita la aparición de un “puente térmico” en esas líneas, lo que se comenta más adelante
- También, con carácter general, las grietas que se pueden producir por los esfuerzos mencionados, bien por interacción entre fachada y estructura, bien por debilitamiento de aquélla al quedar interrumpida, facilitan la filtración del agua de lluvia hasta la cara interior de la hoja exterior

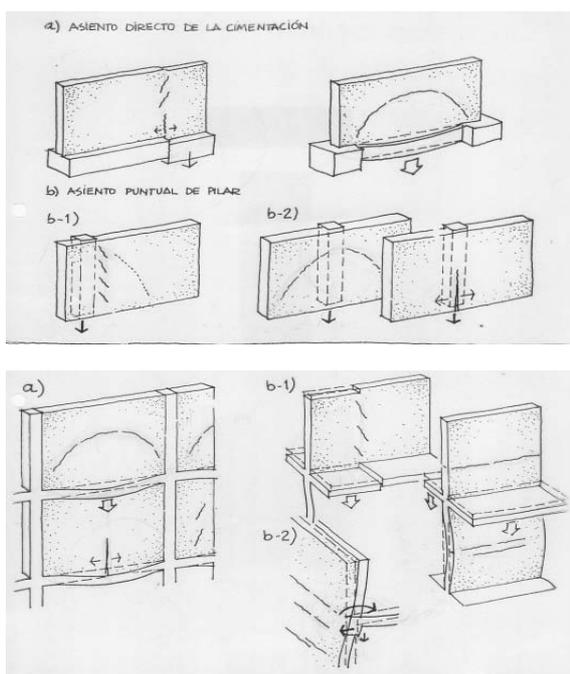


Figura 5.- Interacción entre estructura y fachada no portante (dibujos del autor).



Figura 6.- Hoja de 1/2 pie de ladrillo apenas apoyada en estructura de hormigón.



Figura 7.- Estructura auxiliar realizada «in situ» para apoyo de hoja exterior.

2.1.2. Deformaciones excesivas de elementos estructurales

Además de las posibles flechas de los elementos horizontales en su encuentro con la fachada, ya comentados, aparecen problemas en las deformaciones de otros elementos de la estructura, debido a su condición elástica, entre los que cabe destacar los horizontales interiores, vigas y forjados, y los pilares.

Las primeras, sobre todo las vigas cuando se construyen “planas”, lo que se ha convertido en la solución acostum-



Figura 8.- Grietas producidas por flechas de vigas de borde.

brada desde los años 60 del siglo XX, pueden sufrir flechas importantes al tener poco canto, cuando reciben la acción de las cargas y sobrecargas habituales. Por otra parte, las normas sobre estructuras horizontales de hormigón suelen limitar las flechas admisibles con un valor relativo en función de la longitud, lo que siendo lógico desde el punto de vista de los esfuerzos que se generan y, por tanto, la resistencias de los elementos, sin embargo resulta erróneo para los elementos de tabiquería que se apoyan sobre ellos, máxime cuando dichos elementos se han ejecutado con soluciones de fábrica, que requieren un apoyo continuo suficientemente rígido, provocando las consiguientes grietas en esa tabiquería.

Las modernas soluciones de tabiques entramados y acabados con paneles de yeso laminado han supuesto una solución parcial al problema.

Los pilares pueden sufrir pandeo que suele afectar a los elementos de cerramiento y acabado próximos, provocando su rotura, normalmente por esfuerzo cortante, no sólo en fachadas, especialmente en esquinas, sino también en tabiquería interior. Tampoco las normas estructurales limitan el pandeo en función del daño que pueda provocar su deformación a los elementos adyacentes, sino solamente por el riesgo de colapso del propio pilar si los esfuerzos que genera la deformación son superiores a su capacidad tensional.



Figura 9.- Grieta en esquina producida por pandeo de pilar.

2.2. Cambio de los sistemas de cerramiento de fachada

Como consecuencia del cambio del sistema estructural, al ir la fachada apoyada en la estructura, se debe aligerar lo más posible. Por otra parte, la fachada se sigue construyendo de fábrica en un alto porcentaje, normalmente de ladrillo, por ser un material muy bien aceptado en muchas zonas geográficas, y estar muy experimentado su uso en fachadas, con buenos resultados, tanto de aislamiento térmico (por su inercia térmica) como de protección al agua de lluvia, actuando como “esponja” que retiene el agua durante el tiempo suficiente hasta que deje de llover. A todo ello hay que añadir la tradición de “albañilería” que domina la construcción de edificios en España.

Para comprender mejor la situación, analicemos especialmente el caso de las fachadas de ladrillo.

En los primeros pasos (años 40 y 50) se utiliza, sobre todo, el muro de 1 pie como hoja exterior, lo que ofrece más estabilidad y mejores condiciones físicas, tanto de aislamiento térmico y acústico, como de resistencia a la filtración del agua de lluvia, trasdosándose con tabique de hueco sencillo y, en ocasiones, manta de fibra de vidrio en la cámara que queda entra ambos. Ello, por otra parte, permite un mejor apoyo de la hoja exterior en la estructura horizontal de borde.

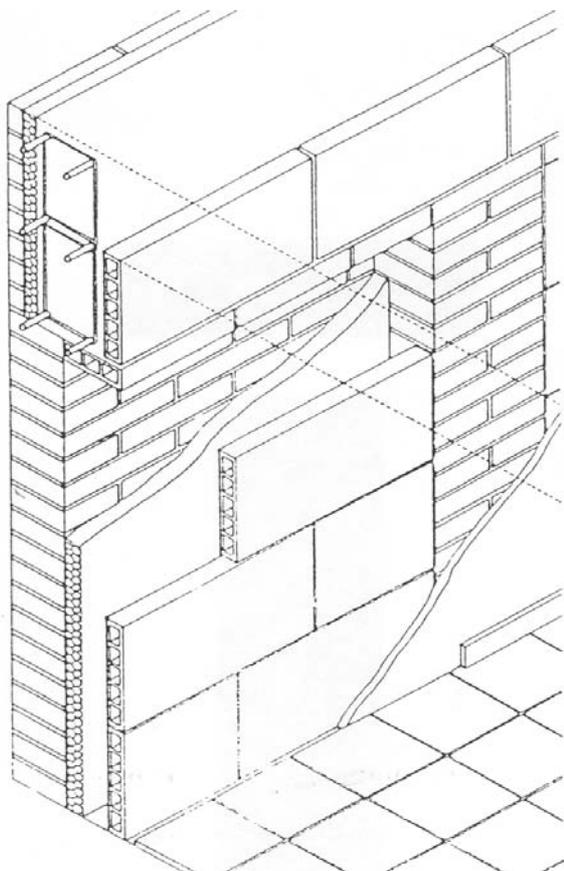


Figura 10.- Esquema de encuentro teórico de fachada y estructura.



Figura 11.- Humedades de condensación superficial interior por fachada ligera sin aislamiento suficiente.

Cuando se arriesgan a colocar la hoja exterior de $\frac{1}{2}$ pie, el trasdosado interior suele ser de mayor espesor, o la cámara de aire más amplia.

Sin embargo, cuando se generalizan los sistemas de acondicionamiento electro-mecánicos (años 70) se piensa en

aligerar definitivamente las fachadas, ejecutando la hoja exterior de $\frac{1}{2}$ pie de un modo casi exclusivo, tal como nos ha llegado al día de hoy. Esta solución, considerada actualmente como “tradicional”, aporta nuevos problemas de funcionamiento constructivo, de los cuales considero los más destacados.

2.2.1. Problemas higrotérmicos de las fachadas ligeras

El principal problema higrotérmico aparece, según he comentado más arriba, como consecuencia de la interrupción de la hoja exterior de fábrica al apoyar sobre la estructura horizontal, con la consiguiente interrupción del material aislante cuando éste se coloca por el interior de dicha hoja. La heterogeneidad resultante de la fachada suele provocar la aparición de *puentes térmicos* en esas líneas, al desaparecer en ellas el material aislante. Lo mismo suele ocurrir con el encuentro de la fachada con los pilares cuando quedan enrasados con la cara interior de la hoja exterior, o cuando dicha hoja debe interrumpirse al llegar a ellos para quedar “encajada” por los cuatro lados, lo que fue lo corriente hasta los años 80 del siglo pasado. Además de esa presencia de puentes térmicos, suele aparecer un problema de *condensación intersticial* cuando la hoja exterior de $\frac{1}{2}$ pie se trasdosa con una capa de aislamiento y un tabique de hueco sencillo al interior. Entonces, la situación de la capa aislante hacia el interior del conjunto, junto con la ausencia de una barrera de vapor suficiente en el interior (excepto los alicatados de cuartos de baño y cocinas) provoca el que se alcance la temperatura de rocío en la cara fría del aislante, con la consiguiente condensación del vapor de agua.

A todo ello hay que añadir el hecho de que la filtración de agua de lluvia en la hoja exterior, reduce su capacidad de aislamiento térmico y favorece la condensación mencionada.

2.2.2. Problemas generales de filtración

A todo lo anterior cabe añadir algunos problemas de filtración del agua de lluvia, que penetra por la propia estructura porosa de los materiales y, sobre todo, por las uniones entre ladrillo y mortero. Si se trata de una hoja exterior de $\frac{1}{2}$ pie, la filtración alcanza fácilmente la cara interior de dicha hoja. Si existe enfoscado interior de mortero de cemento, este puede actuar parcialmente como “esponja” que retiene el agua durante un cierto tiempo, en función de su composición y de su espesor, lo que a veces resulta suficiente, especialmente en climas poco lluviosos. Si, por el contrario, no se ha colocado dicha capa de mortero, el agua acaba chorreando por la cara interior, empapando la capa aislante y acumulándose en el forjado de apoyo.

Un caso especial lo constituye, a partir de los años 80, la generalización de proyectar espuma de poliuretano por la

cara interior de la hoja exterior, que todavía se mantiene en la actualidad. Dicha capa suele ser impermeable al agua de lluvia, por lo que la que consigue alcanzar por filtración esa posición, claramente se aloja en esa interfase y, en todo caso, acaba acumulándose en el forjado de apoyo. Esto es especialmente efectivo cuando no se realiza el enfoscado de la cara interior con mortero de cemento, ya que entonces el agua de lluvia alcanza claramente esa situación.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que la filtración se produce con mayor contundencia en las zonas altas de los edificios y en las esquinas, por ser las más expuestas a las inclemencias exteriores. En ellas, por tanto, se acentúan los problemas mencionados.

También hay que considerar como puntos especialmente afectados todos aquéllos en los que la geometría de la fachada provoque plataformas horizontales donde el agua de lluvia se pueda acumular, aunque sea temporalmente, puesto que en ellos existe además cierta presión de agua que favorece la filtración. En estos casos, se ha generalizado el uso de mástics de silicona para su sellado, olvidándose de la solución tradicional del solape suficiente y del drenaje por pendiente, que se ha mostrado efectiva a lo largo de los siglos. Además, si el sellado se realiza entre planos que forman ángulo recto, se desprende con facilidad, por lo que su efectividad es casi nula. Lo mismo se puede aplicar a los casos de uniones entre distintos elementos, como es el encuentro con las carpinterías de ventana.

Aparece otro problema de filtración cuando los remates superiores se realizan con ladrillo visto colocado a sardinel. Al ser de poco espesor, la filtración por las juntas entre ladrillos está asegurada, puesto que son, como ha quedado dicho, uno de los puntos débiles y ahora se ofrecen en planos horizontales y en las zonas más expuestas de la fachada.

Por último, cabe mencionar que el agrietamiento que se produce como consecuencia de los movimientos relativos entre estructura y cerramiento en las líneas de apoyo, visto más arriba, favorece enormemente la filtración del agua de lluvia, puesto que se convierten en aperturas “capilares” (de planos paralelos) que facilitan la succión. Coinciden, además, con zonas en donde se puede acumular, por una parte, el agua de filtración que ha alcanzado la cara interior y, por otra, la posible condensación intersticial provocada por el puente térmico en esa línea.

Ese agrietamiento, y la filtración consiguiente, resultan más llamativos en las fachadas con esa misma constitución y con revoco exterior. En ellas, el revoco se fisura debido al agrietamiento de la fachada, sobre todo cuando existe una clara interrupción entre hoja de cerramiento y estructura, aunque se coloque malla de refuerzo.



Figura 12.- Filtración por vierteaguas de ventana.

2.3. Cambio de los sistemas de cerramiento de cubierta

Considero que el cambio más importante ha sido el abandono de las cámaras de aire ventiladas (“cubiertas frías”) para sustituirlas por las llamadas “cubiertas calientes”, sin cámara, basadas en la impermeabilización de las láminas bituminosas y en los aislantes más rígidos, especialmente los morteros aligerados.

Al igual que en las fachadas, se abandonaron las soluciones basadas en el buen funcionamiento constructivo del sistema, especialmente a partir de los años 60, a saber:

- La geometría de pendientes de las cubiertas, incluso de las “planas”, para asegurar el drenaje rápido del agua de lluvia y evitar su filtración, optándose por apoyarse excesivamente en la impermeabilidad de las láminas
- La ventilación de la cámara de aire para obtener un buen aislamiento térmico, tanto en invierno como en verano, basando las nuevas soluciones en el acondicionamiento producido por los sistemas electro-mecánicos, y en la pobre aportación de los morteros aligerados



Figura 13.- Filtración en cubierta plana.

Como consecuencia, aparecieron también problemas de filtración e higrotérmicos, de los que podemos mencionar los siguientes como más representativos.

2.3.1. Problemas de filtración en cubiertas

La filtración en las nuevas cubiertas se produce en los mismos puntos en que aparecía en las antiguas, aunque ahora lo hacen con mayor antelación y resultan más difíciles de localizar.

Por un lado, aparece filtración en el perímetro de las cubiertas planas, debido a la continuidad que se da a la lámina bituminosa entre el plano horizontal de la cubierta y el peto vertical de la misma. La continuidad se basa en la elasticidad de la lámina bituminosa, que se considera suficiente para absorber las variaciones dimensionales que se producen en esa línea, pero en la realidad, la lámina acaba rasgándose, debido a las sucesivas dilataciones y contracciones que sufre, sobre todo en los casos (la mayoría) en que dicha lámina se coloca adherida al 100%. De hecho, en las soluciones realmente tradicionales, siempre se ha introducido una junta de dilatación en el perímetro, bien el “mimbel” de las cubiertas “a la catalana”, bien la “zabaleta” de las terrazas andaluzas. Sin embargo en las actuales, incluso desde la normativa, sólo se plantea un refuerzo en esas líneas, pensando que el mismo va a ser capaz de “detener” el movimiento de los elementos constructivos en una zona tan expuesta a cambios climáticos como es la cubierta.

También se producen filtraciones en puntos intermedios cuando no se ponen las necesarias juntas de dilatación, basándose asimismo en la elasticidad de la lámina impermeable. Ésta acaba rasgándose y el agua, una vez filtrada, se distribuye horizontalmente hasta encontrar el punto de entrada a través del forjado de apoyo, lo que hace difícil la localización del punto de rotura. De nuevo, las soluciones tradicionales consideran la introducción de juntas de

dilatación para disminuir la movilidad (única solución válida para ello) y reducir el riesgo de rotura y filtración.

Por último, pueden aparecer filtraciones por punzonamiento de la lámina si ésta no está lo suficientemente protegida contra las acciones mecánicas. Cabe tener en cuenta que en los edificios actuales, de cada vez más, las cubiertas sirven de alojamiento de aparatos para las instalaciones electro-mecánicas (¡qué paradoja!) que necesitan mantenimiento, lo que provoca un continuo tránsito de operarios que pueden dañar la lámina impermeable. La protección “tradicional” de grava, puede ser peligrosa en estos casos, y más lo ha sido la de raseados de mortero. Aunque esta situación se ha visto considerablemente mejorada por la generalización de las “cubiertas invertidas” con aislamiento por encima de la lámina, a partir de los años 80, sigue siendo aconsejable una protección mecánica más efectiva.

2.3.2. Problemas de condensación en las nuevas cubiertas

Con ser importantes los problemas de filtración, más llamativos resultan en ese tipo de cubiertas los de condensación, tanto superficial interior como intersticial.

En efecto, la desaparición de la cámara de aire ventilada hace que el vapor de agua que intenta salir al exterior, no se pueda disipar y se quede atrapado en el espesor de la “cubierta caliente”, pues se encuentra con una lámina impermeable en la parte superior que no le deja salir. Así se va acumulando y, más tarde o más temprano, puede aparecer la condensación intersticial que empieza, sistemáticamente, debajo de la lámina impermeable.

En ese momento, el conjunto pierde capacidad aislante y se puede producir, además, condensación superficial interior, lo que resulta excesivamente corriente, sobre todo en las soluciones anteriores a la cubierta invertida, cuyo aislamiento se basaba, exclusivamente, en la capa de mortero aligerado.

La solución de colocar el aislante por encima de la impermeabilización supone un buen aporte para retrasar el proceso si se trata de un material de célula cerrada (no absorbe el agua) pero no se puede considerar una solución definitiva como sí lo es la de la cámara de aire.

Todos esos procesos se agravan si se produce filtración, puesto que la humedad reduce la capacidad aislante de los materiales y acelera la condensación.

3. LA ADAPTACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A LAS EXIGENCIAS FUNCIONALES

Todos los comentarios anteriores podrían hacernos pensar que estoy en contra de la evolución de los sistemas

constructivos y que propongo que sigamos construyendo como antaño. Nada más alejado de la realidad. Por el contrario, considero que, como en todos los procesos, en la edificación debemos aprovechar al máximo la innovación de materiales y elementos, pero lo debemos hacer atendiendo a la mejora de su funcionalidad, para lo cual se pueden aprovechar los criterios constructivos que han dado un buen resultado en épocas pasadas, y se deben complementar con las buenas propiedades de los nuevos materiales.

En este sentido, quiero recordar las ideas que yo mismo vertía en un antiguo artículo (*Arquitectura, arte funcional*) publicado en esta misma revista en 1983 (nº 374) en el que introducía el concepto de la arquitectura como “*Arte funcional*”, que después he usado en otros escritos. En efecto, la funcionalidad (habitabilidad) como característica distintiva de la arquitectura frente a otras bellas artes, debe hacerse extensiva a la construcción como “*Arte técnico*” de la arquitectura. Todos los sistemas y elementos constructivos que los constituyen deben estar diseñados y ejecutados para cumplir una determinada función constructiva de entre las que definió Vitruvio en su “*tríada*”, a saber, **integridad** (*firmitas*) **habitabilidad** (*utilitas*) y **estética** (*venustas*).

Así, los distintos elementos constructivos, según su situación, deberán cumplir una o varias de esas funciones, sin olvidar la nueva exigencia, más actual, de **sostenibilidad**, es decir,

- Equilibrio de consumo de materiales y de energía en su diseño y ejecución
- Facilidad de mantenimiento a lo largo de su vida útil, y
- Posibilidad de recuperación o reciclado al final de la misma.

Veamos, como ejemplos, algunos de los sistemas y elementos mencionados en el punto anterior.

3.1. Sistemas y elementos estructurales

Las estructuras, en general, deben asegurar la integridad de los edificios, lo que implica su *estabilidad* frente a las acciones exteriores previsible, lo que condiciona también su posible deformación, y su *durabilidad* a lo largo de su vida útil.

Por otra parte, si alguno de los elementos del sistema estructural queda visto, formando parte de la imagen del edificio, como son muchos casos de estructuras murarias, antiguas o modernas, deberá también tener el aspecto y la composición formal adecuados y mantenerlos durante su vida útil.

En el caso de las estructuras de pilares y vigas, se deben aplicar las mismas exigencias, teniendo en cuenta que, por



Figura 14.- Estructuras de pilares y vigas que influyen en la imagen del edificio.

la posible esbeltez de sus elementos, hay que vigilar especialmente su deformación elástica, no sólo para asegurar la integridad de la propia estructura, que sea capaz de soportar los esfuerzos que dichas deformaciones producen, sino también para asegurar la integridad de los elementos que en ellos se apoyan, además de la habitabilidad de los espacios que encierran, evitando vibraciones y deformaciones incómodas para el usuario.

Por otra parte, en los casos de esas estructuras resulta muy importante atender a su durabilidad, máxime ante el fuego y los agentes meteorológicos si se trata de estructuras vistas. En efecto, los elementos de esas estructuras suelen diseñarse aprovechando al máximo su capacidad portante y, por tanto, con secciones estructurales muy ajustadas, lo que las hace más vulnerable a los distintos procesos patológicos que les pueden afectar, a saber:

- Debido al **fuego**, pérdida de humedad con la consiguiente disminución de su capacidad resistente en los hormigones, deformación y pérdida de tenacidad en los perfiles metálicos y en las armaduras del hormigón armado
- Debido a los **agentes meteorológicos**, oxidación y corrosión, en el caso de estructuras metálicas, carbonatación, lixiviación y meteorización del hormigón de recubrimiento, así como oxidación



Figura 15.- Forjado de hormigón afectado por fuego.



Figura 16.- Edificio Windsor después del fuego.

y corrosión de las armaduras, en el caso de elementos de hormigón armado.

Todo ello suele reducir, tanto la integridad como la sección resistente y, por lo tanto, la capacidad portante. En el caso del hormigón, las condiciones mencionadas afectan tanto a estructuras de pilares y vigas, como a las de muros portantes.

Si se trata, además, de elementos vistos, esos procesos afectan también a su aspecto.

En definitiva, en el diseño y ejecución de esas estructuras debemos atender al mismo tiempo a su función de integri-



Figura 17.- Estructura de hormigón vista afectada por agentes meteorológicos.

dad (estabilidad y durabilidad) y a su imagen y permanencia de la misma a lo largo de su vida útil.

En cuanto a la *sostenibilidad*, cada vez hay que buscar más soluciones que cumplan con las exigencias mencionadas. En el caso del hormigón, uso de cementos de los llamados “ecoeeficientes”, y de áridos obtenidos por reciclado de otros materiales, quizás de hormigón; tratamientos de protección superficial que aumenten su durabilidad, tanto ante el fuego como ante fenómenos meteorológicos, empleo de armaduras inoxidable, uso de elementos prefabricados de posible recuperación en su “deconstrucción”, etc., etc.

En los casos de las estructuras de acero, aplicación de protecciones contra el fuego efectivas y duraderas, uso de protecciones contra la oxidación de larga duración, diseños que faciliten la ventilación y eviten la humectación por condensación y los fenómenos de aireación diferencial, diseño de elementos estructurales desmontables, de fácil recuperación, asegurar la posibilidad de mantenimiento periódico de sus protecciones, etc., etc.

3.2. Sistemas y elementos de fachada

Las fachadas han tenido tradicionalmente una **función estética**, no en balde son la piel de los edificios y lo primero que se ve, además de ser la “expresión formal” de

sus contenidos espaciales. Sin embargo, desde el punto de vista de la funcionalidad del edificio, su participación en la **habitabilidad** del mismo (de los locales que encierran) es crucial, por lo que en su diseño constructivo, esta función pasa a ocupar el primer lugar atendiendo a sus exigencias más importantes, a saber:

- **Protección**, que implica los aislamientos térmico y acústico, la resistencia a posibles fuegos, al acceso de intrusos, etc.
- **Higiene**, diseñando ventanas de tamaño y practicabilidad adecuados para su correcto funcionamiento en ventilación y soleamiento, tanto entrada como protección
- **Iluminación**, para aprovechar al máximo la luz natural, con la forma y tamaño de ventanas adecuados, así como el tipo de vidrios y los sistemas de regulación solar
- **Visión** a través, tanto desde dentro hacia afuera (la más importante) que implica tamaño, forma y disposición de las ventanas, como la regulación de la de fuera hacia adentro, con diseño de celosías fijas y orientables, tipo de vidrios, disposición geométrica de los mismos, etc.
- **Accesibilidad**, tanto la facilidad de acceso de los ocupantes, sobre todo en plantas bajas y en terrazas y balcones, como la seguridad de impedir el acceso de intrusos

Por otra parte, además de estas dos funciones (*venustas y utilitas*) hay que tener en cuenta que las fachadas, como elemento que tiene que hacer frente a los agentes atmosféricos, sufre una serie de acciones mecánicas para las que tienen que estar diseñadas. Ello implica una exigencia funcional añadida de **integridad** (firmitas) en sus dos vertientes de *estabilidad* y de *durabilidad*. Así, cabe recordar las exigencias más importantes:

- **Estabilidad** frente a,
 - o Presión y succión de viento, especialmente importante en zonas expuestas y partes altas de los edificios
 - o Tensiones de tracción y cortante provocadas por variaciones dimensionales debidas a cambios de humedad y temperatura
- **Durabilidad** ante,
 - o Lixiviación, provocada por posibles filtraciones de agua de lluvia
 - o Helada, como consecuencia de la humedad infiltrada y las bajas temperaturas
 - o Corrosión de elementos metálicos
 - o Alteración química por acción combinada del agua de lluvia y los contaminantes urbanos e industriales, especialmente en los elementos de piedra

- o Desgaste superficial por rozamientos e impactos, tanto en partes bajas como en zonas expuestas (erosión eólica)
- o Ensuciamiento por partículas en suspensión (hollines, etc.) con la ayuda de la escorrentía del agua que provoca lavado diferencial

Como podemos observar, las fachadas constituyen el sistema del edificio de mayor dificultad en su diseño constructivo, dada la complejidad de las exigencias que sobre ellas recaen. Esto hace que debamos ser especialmente cuidadosos en su elección y definición, y ser conscientes de que los errores que cometamos van a tener una gran repercusión en la funcionalidad del edificio y, por tanto, en su mantenimiento, lo que repercute directamente en su sostenibilidad.

En este sentido, cabe recordar que la sostenibilidad en las fachadas, debe considerarse, sobre todo, desde este punto de vista, o sea, asegurando que su funcionalidad es la correcta y que su mantenimiento es mínimo, es decir que:

- Mantienen la integridad ante presión y succión del viento
- No se rompen ante dilataciones y contracciones por variaciones de humedad y temperatura

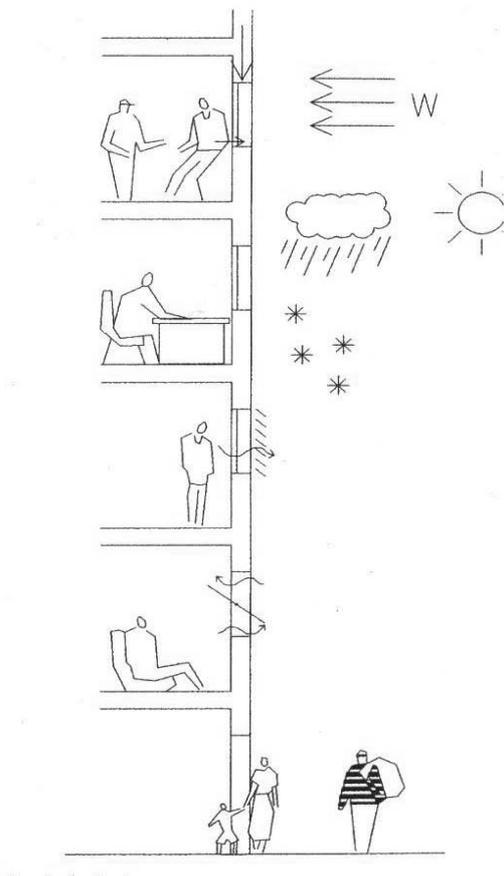


Figura 18.- Multitud de exigencias funcionales en las fachadas.

- La interacción con los movimientos elásticos de la estructura soporte no provoca grietas
- Resiste el rozamiento y los impactos mecánicos
- No sufre erosión por lixiviación ni por heladas
- No tiene elementos metálicos que se oxiden fácilmente
- Tiene controlada la escorrentía del agua y evita el ensuciamiento por lavado diferencial
- Es suficientemente estanca ante el agua de lluvia
- Resulta suficientemente resistente a posibles fuegos exteriores e interiores
- Tiene suficiente resistencia térmica y acústica
- Permite la adecuada ventilación y el suficiente soleamiento a los locales que encierra
- Ofrece la necesaria visión a través, así como protección de vistas suficiente
- Facilita el acceso de ocupantes y dificulta el de intrusos
- Expresa adecuadamente la funcionalidad del edificio en sus formas
- Tiene la composición, modulación formal y textura adecuadas al entorno
- Permite el adecuado mantenimiento exterior e interior, así como la reposición de protecciones superficiales y elementos

3.3. Sistemas y elementos de cubierta

Las cubiertas también deben responder a los tres tipos de funciones planteadas para las fachadas, aunque algunas de ellas en menor escala; veamos.

La **integridad** es evidente, tanto en *estabilidad* como en *durabilidad*, pues resulta la unidad más expuesta a los agentes meteorológicos,

- Viento, principalmente succión, del conjunto o de elementos sueltos
- Nieve, como sobrecarga especial en esa situación
- Variaciones térmicas, muy importantes en cubiertas, con las tensiones de tracción y esfuerzo cortante consiguientes
- Lluvia, con posibles sobrecargas de cierta importancia
- Erosiones física y eólica consiguientes

En algunos casos, además, la cubierta resulta un elemento singular del sistema estructural del conjunto y como tal debe ser resistente a (o estar protegido contra) posibles incendios.

La función de **habitabilidad** es también importante, especialmente la que se refiere a la protección de los locales que cubre, protegiéndolos de todos los meteoros (lluvia, viento, frío y calor, insolación). En este sentido cabe recordar los problemas de *filtración* del agua de lluvia, que



Figura 19.- Importancia de la cubierta en la silueta del edificio.

afectan al sistema de drenaje y al de impermeabilización del conjunto, así como los de *condensación* del vapor de agua interior, que quedan condicionados por el sistema de aislamiento y de ventilación intermedia. Asimismo, cada vez más, se persigue la obtención de iluminación a través de la cubierta, con los problemas de soleamiento y condensación que puede llevar consigo.

La función **estética**, en fin, resulta asimismo importante, especialmente cuando condiciona la silueta del edificio, con la tendencia actual, a veces exagerada, de siluetas de líneas horizontales, que marcan una peligrosa tendencia a abandonar las cubiertas inclinadas a toda costa.

Resulta, pues, también, una unidad compleja y, por tanto, afectada por su diseño constructivo, con clara incidencia en la sostenibilidad del conjunto, especialmente en el posible ahorro energético correspondiente al uso del edificio y a su climatización.

En efecto, especialmente en edificios de poca altura, la superficie de la cubierta supone un porcentaje importante en la envolvente del conjunto y, por tanto, tiene gran incidencia, tanto en la pérdida de calor en invierno, como en su ganancia en verano, es decir, en el consumo energético para la climatización de los espacios habitables.

Por otra parte, la cubierta puede convertirse en una superficie muy adecuada para todos los dispositivos de captación y transformación de energías renovables (sol, luz, viento, lluvia) lo que incide definitivamente en la parte de la sostenibilidad correspondiente al ahorro de energía.

Por último, la cubierta sirve para recuperar el medio ambiente exterior cuando se utiliza para la regeneración de flora local, autosustentable, que aporta una mejor imagen al entorno y aumenta su poder de aislamiento térmico y acústico.



Figura 20.- Iluminación cenital.

3.4. Corolario

En definitiva, entendiendo la arquitectura como un “*arte funcional*”, parece necesario atender a la función constructiva de los sistemas que componen el edificio, es decir, asegurar un diseño de los distintos elementos y unidades que dé adecuada respuesta a las exigencias funcionales de los mismos y a la sostenibilidad del conjunto.

En este sentido debemos asegurar una serie de objetivos, a saber:

- Que tanto los elementos estructurales como los de cerramiento, tengan la estabilidad y la durabilidad necesarias y adecuadas al uso y a las posibles acciones, lo que permitirá reducir las acciones de mantenimiento
- Que los cerramientos de fachada y cubierta cumplan los requisitos de habitabilidad suficientes, es decir, protección y aislamiento a las acciones exteriores, incluso aprovechamiento bioclimático de los mismos, lo que reducirá el consumo de energía
- Que los acabados exteriores tengan la resistencia suficiente a los agentes atmosféricos para ofrecer la durabilidad adecuada que permita reducir también las operaciones de mantenimiento
- Que se utilicen los captadores de energías renovables más adecuados al entorno para el aprovechamiento energético óptimo

- Que los materiales constructivos se obtengan con el mínimo consumo de materias primas y de energías, incluso con aprovechamiento y reciclado de residuos
- Que los sistemas constructivos se diseñen para un proceso de construcción más eficiente, sin necesidad de improvisaciones durante la ejecución
- Que los procesos de ejecución de las obras impliquen el mínimo consumo de mano de obra y de energía, y que provoquen pocos escombros

Para todo ello, se pueden utilizar sistemas y procedimientos “tradicionales”, pero también se hace necesario adaptarse a las nuevas circunstancias de uso y aprovechar las nuevas posibilidades de materiales y productos, todo lo cual implica una continua innovación de materiales, técnicas y sistemas.

4. LA RACIONALIZACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

La innovación mencionada en el último párrafo pasa, como queda comentado, por el empleo de los materiales adecuados y por el diseño constructivo correcto, que permita cumplir la funcionalidad exigida. Pero todo ello hay que complementarlo con una mejora clara de los procesos constructivos.

En efecto, considero que la situación actual de nuestra edificación adolece, principalmente, de los siguientes problemas relacionados con los procesos constructivos:

- Poca *eficiencia* del proceso de ejecución en obra
- Pobre *sostenibilidad* del proceso global

Todo ello nos lleva a una urgente necesidad de optimizar la producción de edificios, en general, y de los de viviendas, en particular.

4.1. Eficiencia del proceso de construcción

Lo que tradicionalmente se ha llamado “proceso de construcción” se puede dividir en varios “subprocesos”, a saber,

- Producción de materiales
- Proyecto
- Ejecución en obra
- Mantenimiento

De ellos, el primero, que resulta muy dividido en toda la industria, ha ido evolucionando y se ha adaptado a las técnicas de producción industriales y, por tanto, eficientes en general.

El segundo, el proyecto, también se ha ido adaptando aunque, como quiera que cada nuevo edificio suele ser un caso individual, no se aprovechan todo lo que debiera las posibilidades de eficiencia en el proceso, y hay una cierta tendencia en el proyectista a no tener como objetivo prioritario la solución constructiva, dejando en muchos casos la solución definitiva a la improvisación de la obra.

La ejecución, por su parte, suele ser el proceso menos eficiente, con un uso excesivo de mano de obra y un abuso de la improvisación y de las técnicas de construcción artesanales, sin el conocimiento y la formación adecuados por parte de esa mano de obra.

El mantenimiento, por último, resulta excesivamente esporádico, poco metodológico, y a veces inexistente, especialmente cuando se trata de edificios residenciales en comunidad de propietarios, sin un planteamiento claro desde el proyecto.

Como consecuencia, para mejorar la eficiencia del proceso de construcción debemos incidir en los dos subprocesos centrales, el proyecto y la ejecución, complementándolo con una mejora clara del mantenimiento.

En efecto, los tres subprocesos deben estar coordinados, de tal manera que el proyecto se diseñe pensando también en el proceso de ejecución (proyecto para ser construido y mantenido) y estos últimos se ciñan a lo especificado en el proyecto.

Pero además de esa ineludible coordinación, caben también una serie de mejoras de planteamiento para que el resultado permita un proceso eficiente. Veamos.

Si pretendemos *optimizar la producción*, debemos *racionalizar el proceso*, lo que afecta a los tres subprocesos. Por una parte, la *racionalización del proyecto*, para que, además de cumplir todos los requisitos funcionales y de composición, permita un proceso de ejecución más eficiente. Por otra, la *racionalización*, también, *de la ejecución*, que pasa por reducir al máximo la intervención de la mano de obra, sobre todo la inexperta, y mecanizar el montaje, de tal modo que se trate más de un “*montaje*” propiamente dicho, que de una “*ejecución*” artesanal. Por último, el *método* en el mantenimiento para asegurar la durabilidad del edificio.

Para alcanzar esos logros, no hay duda que la *prefabricación* es una técnica que facilita la racionalización de los procesos, ya que suele partir de una *modulación* de las unidades y los elementos componentes que facilita la racionalización geométrica del proyecto, y permite una racionalización de la fase de montaje al llegar los elementos a la obra con un alto nivel de acabado que requiere una mínima intervención de la mano de obra “*in situ*”, posibilitando, por tanto, un mejor aseguramiento de la calidad

final. Asimismo facilita el mantenimiento concentrando sus actuaciones, sobre todo en las uniones.

Pero no es la única técnica para lograr esa racionalización, y muchas veces ni siquiera es suficiente. En efecto, si la prefabricación no va acompañada de una distribución racional en planta, para agrupar zonas húmedas, por ejemplo, o reducir espacios inútiles, o no tiene unas medidas coordinadas que permitan la producción industrial más eficiente de los elementos, o no facilita el acoplamiento de componentes provenientes de distintos fabricantes, o no permite su montaje coordinado en obra, etc., no nos sirve para el objetivo de optimización del proceso global que nos habíamos propuesto.

En base a todo ello, podríamos establecer una serie de condicionantes de esos subprocesos para facilitar esa optimización, teniendo en cuenta la inevitable individualidad que envuelve cada proyecto.

El proyecto debe considerar su racionalización en los siguientes aspectos, por lo menos:

- Modulación general del sistema estructural, para facilitar la coordinación modular de los propios elementos estructurales (pilares, vigas, forjados) además de la de los de cerramiento y acabado (fachadas, tabiques, etc.)
- Máximo aprovechamiento de espacios interiores, eliminando recorridos innecesarios desde el punto de vista funcional
- Unificación de instalaciones verticales (cuartos húmedos, acondicionamiento, ventilación, etc.) para facilitar la ejecución de esas instalaciones
- Incorporación de cámaras para alojamiento de conductos horizontales y verticales, para evitar la ejecución de “*rozos*” que disturbán el proceso de montaje y generan escombros innecesarios
- Modulación de los elementos de cerramiento y acabado, dentro de lo posible, para aceptar elementos prefabricados de diversas procedencias, o para racionalizar la ejecución en obra y el mantenimiento
- Planteamiento de los procesos de mantenimiento para asegurar su factibilidad
- Especificaciones claras de la calidad de los materiales y productos para asegurar la necesaria durabilidad de los elementos y reducir las necesidades de mantenimiento

Para ello, como sabemos, se puede partir de dos planteamientos básicos; utilizar sistemas constructivos de los llamados “*cerrados*”, basados normalmente en elementos prefabricados que completan cada unidad funcional (vivienda, nave industrial, etc.) o en técnicas de ejecución “*in situ*” mecanizadas (encofrados “*mesa*” o “*túnel*”) o proyectar con una coordinación modular “*abierto*” que

permiten incorporar elementos que están en el mercado, de alto nivel de acabado y de fácil montaje.

4.1.1. Industrialización cerrada

Los primeros, utilizados en épocas pasadas para grandes series de edificios residenciales, se centran en la actualidad para la construcción de pequeños desarrollos o para viviendas unifamiliares de las llamadas modulares, muy populares en Norteamérica (EE.UU. y Canadá). Suelen tener ciertas limitaciones de diseño formal para un mejor aprovechamiento de los elementos y de los sistemas, aunque los propios fabricantes se afanan en darles la máxima variabilidad. En cualquier caso, se aproximan a otros procesos industriales, como la producción de automóviles o la de embarcaciones de recreo, y facilitan claramente la optimización de la producción al poder controlar los procesos y los tiempos de producción y montaje.

A ellos podemos asimilar otros procedimientos de ejecución de obras relativamente pequeñas, basados en procesos “in situ” más manuales, pero suficientemente racionalizados para controlar también las operaciones, los tiempos y las calidades, que utilizan sistemas estructurales de muros de carga más o menos modulados y con aislante e instalaciones incorporadas, que son a la vez cerramientos de fachada, o divisiones interiores.

En general, para proyectar con cualquiera de esos sistemas es preciso conocerlos bien y tenerlos en cuenta desde el principio para aprovechar al máximo su uso; en algún caso se podría pensar que condicionan la “libertad de diseño” del proyectista, sobre todo si éste no conoce suficientemente el sistema.

4.1.2. Industrialización abierta

Los sistemas “*abiertos*”, por el contrario, se podrían considerar como los más adecuados para una mayor flexibilidad en el proyecto, sin embargo tienen otras dificultades que conviene analizar.

Por una parte, no es fácil poner de acuerdo a toda la industria de productos de construcción para que adopte una misma base modular para la geometría de sus elementos; en muchos casos ello supondría una modificación de sus procesos de producción industrial. Por otra, tampoco resulta fácil que los proyectistas se conozcan todos los elementos que existen en el mercado para utilizar los más adecuados en cada caso; además, existe un cierto afán de proyectar elementos especiales que perturba esa incorporación modular. Entonces, la supuesta flexibilidad y libertad de proyecto resulta bastante mermada. Por último, aparece la dificultad de unión y acoplamiento entre distintos productos y elementos. La *junta constructiva* adquiere enorme importancia y su solución condiciona el proceso, lo que suele resultar complejo al no ser una clara responsabilidad de ambos fabricantes.



Figura 21.- Vivienda modular en fábrica.



Figura 22.- Elementos de protección de fachada acoplables.

No obstante, esta opción sigue perfilándose como la más deseada por proyectistas que no ven la necesidad de someterse a un determinado sistema constructivos “premodulado”. En este caso, habría que establecer unas pautas para que se pueda facilitar la optimización de la producción desde el proyecto:

- Tratar de establecer una base de coordinación modular para la geometría de los elementos constructivos que pueda ofrecer el mercado; de hecho, ésta es una idea que lleva planteándose desde antiguo (1950) y hasta el momento no parece haber tenido éxito
- Conocer bien los productos que ofrece el mercado, con todos los datos geométrico y técnicos necesarios, para poder estudiar su acoplamiento en un mismo proyecto desde el principio
- Que los productores ofrezcan una geometría relativamente flexible en sus elementos para que su incorporación en el edificio no se vea tan condicionada por los tamaños, y que adquieran más importancia los servicios que ofrece, así como su calidad

- Que se ofrezca una herramienta informática capaz de incorporar a las necesidades de diseño, tipos de proyectos racionalizados y productos existentes en el mercado que se acoplen en ellos, para ayudar al proyectista a considerar desde el principio una solución constructiva que permita una ejecución más eficiente

En esta última opción estamos trabajando en el IETcc, buscando la optimización de los proyectos y de la ejecución de edificios de viviendas, como primer paso para conseguir una mejora en los procesos edificatorios.

En definitiva, la eficiencia en el proceso de ejecución pasa por una *racionalización del proyecto*, en el que se considere los sistemas y las técnicas constructivas a emplear, con un conocimiento amplio de las mismas por parte del proyectista, y en el empleo de técnicas durante la ejecución que se basen poco en la mano de obra y, por el contrario, aseguren la calidad final gracias al desarrollo de los elementos con un mayor nivel de acabado.

4.2. Sostenibilidad del proceso global

La sostenibilidad del proceso de construcción está condicionada por la sostenibilidad en cada uno de los subprocesos mencionados (producción de materiales, ejecución, uso y mantenimiento) teniendo en cuenta que no podemos hablar de uno de ellos sin tener en cuenta los demás, pues de lo que se trata es de pensar en una sostenibilidad global y no en una sostenibilidad parcial que, mal entendida, podría estar en contra de la de alguno de los otros.

En este sentido, recordemos los aspectos más importantes de la sostenibilidad de cada uno de dichos subprocesos.

4.2.1. De la producción de materiales

En la **producción de materiales**, resulta importante equilibrar, por una parte, el *consumo de materias primas* y, por otra, el *consumo de energía*. El primero, está condicionado por la naturaleza de la materia prima de que se trate y su capacidad de recuperación natural (la madera es escasa pero recuperable; la piedra es abundante, pero no recuperable) así como por la posibilidad de reciclado de los productos para su conversión en nueva materia prima.

De los dos condicionantes se tiene que actuar, sobre todo, en el segundo que, a su vez, permite controlar los excesos de producción de escombros. De hecho, la *valorización de residuos y escombros*, y el *reciclado de los mismos*, es una de las líneas de investigación en materiales de más futuro en la actualidad, y nuestro Instituto está trabajando intensamente en ella.

Por su parte, el equilibrio en el consumo de energía para la producción de materiales y elementos constructivos, tien-



Figura 23.- Producción excesiva de escombros.

de a dos objetivos básicos; el ahorro energético directo, y la reducción de contaminantes atmosféricos. En construcción, la mayoría de materiales requieren consumo energético elevado, siendo quizás los más llamativos el cemento, las cerámicas y el acero. Por ello, se está trabajando en diseñar materiales que requieran menor consumo energético. Uno de los más representativos son los así llamados “eco-cementos”, que sustituyen el clinker por productos alternativos de menor consumo, normalmente obtenidos a partir de materiales reciclados o de subproductos de otros procesos industriales. También el IETcc trabaja en esos procesos.

4.2.2. De la ejecución

En la **ejecución** de las obras, entran también otros factores que afectan a su sostenibilidad. En efecto, además del equilibrio en el consumo de materiales y de energía, similares a los mencionados en el punto anterior, hay que conseguir minimizar el consumo de mano de obra, y reducir la producción de escombros, así como su recuperación y reciclado. En efecto, la reducción de la mano de obra aporta varias ventajas de sostenibilidad; por un lado, se puede reducir el tiempo de ejecución y, por tanto, el coste final; por otro, se eliminan riesgos de error y se aumenta, por ende, la garantía de calidad, lo que repercute directamente en el comportamiento funcional del edificio y reduce la necesidad de mantenimiento.



Figura 24.- Demolición sin aprovechamiento racional.

En cuanto a la producción de escombros, su eliminación asegura la reducción de tiempos de ejecución, la disminución de riesgos de seguridad y salud, y es indicio de mayor eficiencia en el proceso. En cualquier caso, como complemento a esa reducción cabe llevar a cabo una recuperación y reciclado de los mismos como parte de la sostenibilidad del conjunto.

4.2.3. Del uso y mantenimiento

Finalmente, en el **uso y mantenimiento** de las obras de construcción, aparecen dos condicionantes básicos de la sostenibilidad. Por un lado el *ahorro en el consumo de energía*, acaso el condicionante más conocido, y, por otro, el *equilibrio en el mantenimiento*, que persigue una serie de acciones preventivas para poder reducir la necesidad de conservación. A ello podríamos añadir un tercer condicionante, cual es la posibilidad de “*deconstrucción*” para aprovechar al máximo los productos y elementos constructivos.

El **ahorro de consumo energético** se basa, a su vez, en dos actuaciones simultáneas. Por una parte, el *diseño bioclimático del edificio* de tal manera que sufra el mínimo de pérdidas energéticas y su diseño permita alcanzar situaciones de confort ambiental sin necesidad de uso de sistemas electromecánicos de acondicionamiento; de hecho, la edificación anterior al segundo tercio del siglo XX solía resolver los problemas de acondicionamiento sin casi consumo energético, basándose en soluciones que hoy se consideran “*bioclimáticas*”, de muros gruesos, techos altos, porches exteriores, aleros, etc., soluciones que se ha tendido a abandonar al basar el confort interior en esos sistemas electromecánicos, como si de un tren o de un avión se tratara.

Por otra parte, también se puede conseguir ahorro en consumo energético mediante *dispositivos de producción y control* más adecuados. En efecto, las nuevas bombas de calor alimentadas por energía solar, por ejemplo, permi-

ten ahorros importantes de consumo; también se puede ahorrar con dispositivos automáticos de control del ambiente (*Domótica*) que aprovechan al máximo los sistemas electromecánicos de acondicionamiento. En ambas líneas de sostenibilidad trabajan los investigadores de nuestro Instituto.

El equilibrio en el mantenimiento del edificio tiene por objeto reducir los gastos de conservación. De hecho, estos últimos se tienen que asumir cuando el daño ya se ha producido, con el resultado de un mayor gasto. Por el contrario, el mantenimiento preventivo evita la aparición de los distintos procesos patológicos, aumentando la durabilidad del edificio y cada una de sus partes, con el resultado de una mejor sostenibilidad. En este caso, es necesario un cierto aumento del gasto de mantenimiento para reducir los de conservación.

Cabe recordar, no obstante, que ese mantenimiento preventivo no se puede reducir a una serie de intervenciones durante la vida del edificio, sino que pasa por varias actuaciones previas, a saber:

- Uso de materiales y productos con la durabilidad adecuada al edificio, su vida útil y las acciones previsibles
- Incorporación de elementos de fácil reposición
- Definición de los programas de mantenimiento del edificio, o la obra en cuestión, desde el proyecto

En durabilidad y técnicas de mantenimiento y reparación, especialmente de hormigones, nuestro Instituto es líder internacional.

La *reconstrucción*, en fin, es un concepto relativamente nuevo y contempla la posibilidad y facilidad de recuperar los elementos y unidades del edificio una vez que termina su vida útil, para reutilizarlos total o parcialmente en otras construcciones; se trata de un planteamiento de reciclado de los componentes del edificio, que se viene practicando ya en otro tipo de productos industriales (coches, lavadoras, etc.) y que todavía es incipiente en nuestro sector, donde las demoliciones plantean un aprovechamiento muy pobre y parcial de los elementos originales.

En cualquier caso, la consideración global de todos esos factores de la sostenibilidad en los distintos subprocesos, nos va a permitir una visión de conjunto en donde, según cada caso, se haga más hincapié en una de las fases o en otra.

5. EL FUTURO DESEABLE

Los deseos del futuro pueden ser utópicos, pero su planteamiento nos puede acercar a conseguirlos. Por eso no

me importa lanzar un *desideratum* para nuestras futuras edificaciones:

- Promotores que entiendan la validez y la necesidad de propuestas innovadoras dirigidas a optimizar la producción de edificios
 - Proyectos que contemplen desde el principio, el sistema constructivo como una condición fundamental de su diseño, sin que ello suponga un menoscabo de su calidad arquitectónica
 - Industrias de productos y elementos que posibiliten su interconexión dentro de una coordinación modular universalmente aceptada, o sistemas “cerrados” suficientemente flexibles para cumplir con los requisitos funcionales y formales de los proyectos
 - Fabricación de materiales con bajo consumo de energía y recuperación de residuos, tanto de construcción como de otros procesos industriales
- Mano de obra con la formación adecuada (ninguna persona trabajando en construcción sin esa formación)
 - Procesos de ejecución en obra mecanizados (incluso, robotizados) con reducida participación de la mano de obra y alta garantía de calidad
 - Adecuada durabilidad de productos y elementos componentes, en función de entorno, uso y acciones exteriores
 - Elementos constructivos con posibilidad de desmontaje y recuperación (“*deconstrucción*”)
 - Procesos de mantenimiento bien planteados y suficientemente explicados para que los usuarios no tengan dificultad en seguirlos (cada edificio con un manual de mantenimiento, como si de un objeto industrial se tratara)
 - Pólizas de mantenimiento en el mercado asegurador y técnico, para que el mantenimiento de los edificios sea más práctico y efectivo

* * *