

LA CONCEPCIÓN CONSTRUCTIVA DE LAS FÁBRICAS: MENOS ES MÁS

Josep M^a Adell

Profesor, Doctor Arquitecto. Universidad Politécnica Madrid (UPM). Dpto. Construcción y Tecnología Arquitectónicas (DCTA). Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAM). Director Línea Investigación sobre fábricas en el Grupo de Investigación de Tecnologías Innovadoras y Sostenibles en Edificación (TISE-fábricas). Presidente Delegación España SC-6.

ESPAÑA

Fecha de recepción: 2-I-05

876-8

A lo largo de los siglos, las fábricas han ido perdiendo grueso y ganando en esbeltez, economizando las construcciones. En las bóvedas tabicadas, se ha llegado al límite de la esbeltez de la fábrica al hacer coincidir en su mínimo grueso, el recorrido de los esfuerzos a compresión, de ahí que con las bóvedas tabicadas se envuelva el espacio con curvas de ladrillo comprimidas, transformando el problema de resistencia en un problema de inestabilidad, que las costillas de fábrica contribuyen a estabilizar.

Las primeras incorporaciones del armado de forma puntual en las fábricas, ha permitido afinar todavía más el planteamiento anterior, al soportarse las tracciones de los empujes mediante zunchos o tirantes de acero situados localmente.

Las técnicas de armado y postensado de fábricas desarrolladas en Hispanoamérica, han asombrado al mundo entero, si bien su complejidad difícilmente puede extrapolarse a la construcción habitual de viviendas.

Por el contrario, en la Arquitectura actual, el material de fábrica que se emplea confiere características arquitectónicas e higrotérmicas, y dado el coste de la mano de obra, se tiende a emplearlo con el mínimo grueso que ofrece el ancho del tipo de pieza que se esté usando, aprovechando así al máximo sus características físicas.

Juntando los nuevos materiales con las nuevas técnicas de diseño de piezas y de armado por tendeles (la fábrica armada) junto con las invenciones del armado vertical con costillas (el Sistema de Albañilería Integral), se logra el sueño de poder armar cualquier material de fábrica en las

3 direcciones del espacio, independientemente del tipo de pieza que se esté usando.

La combinación de cerchas verticales y horizontales incorporadas en la albañilería, empleando sólo mortero en lugar de hormigón, permiten crear elementos verticales u horizontales, planos o curvos, construidos “in situ” o en taller y con gran sencillez.

Los muros tradicionales han pasado a ser placas armadas bidireccionalmente y en su grueso, con la cuantía de acero que sea necesaria, para adaptarse a cualquier situación constructiva que pueda imaginarse y construyendo a mano con mortero.

Las cerchas incorporadas vertical y horizontalmente en la fábrica, absorben el esfuerzo cortante en placas de gran delgadez, logrando el sueño de poder construir mucho más, empleando menos material, aunque técnicamente sea más optimizado.

LOS TABICADOS

Tradicionalmente en Arquitectura, **“la fábrica”** se refiere a la edificación construida (fabricada) “in situ”, lo que contrasta hoy día con el nuevo significado aparecido después de la Revolución Industrial, en que la “fábrica” se refiere, a un lugar de producción a cubierto.

Los materiales de fábrica se prefabrican antes de llegar a la obra, con una geometría prismática de pequeño tamaño (los tradicionales ladrillos cerámicos que se asientan con

una sola mano) o más grandes (los modernos bloques cerámicos o de hormigón que requieren las dos manos para su puesta en obra).

La construcción tabicada “a la catalana”, que si bien viene de oriente, ha triunfado en el Levante español (y en Extremadura y otras provincias), dándole incluso su nombre popular, se basa en la ingeniosa disposición espacial de las piezas de ladrillo “de plano” (lo que aumenta la superficie a cubrir con el mínimo de peso de una pieza), combinándose con el empleo de un yeso de rápido fraguado (2 ó 3 minutos), que le permite al habilidoso albañil levantar las “voltas” curvas “al aire”, **sin cimbras**, de las escaleras o del cierre abovedado de un espacio, con la máxima ligereza, rapidez y resistencia inicial suficiente, eludiendo con ello la necesidad de emplear encofrados y su coste. Posteriormente y con una segunda o tercera “volta” apoyada sobre la primera, y tomadas éstas con cemento, se le da la resistencia adecuada para su uso.

Gaudí, conocedor de esta técnica, la empleó con habilidad en la Cripta de la Colonia Güell e investigó mucho en sus formas con **conoïdes y paraboloides hiperbólicos**. En las Escuelas de la Sagrada Familia, que después se comentará por sus especiales circunstancias de rehabilitación, construyó múltiples formas.

La construcción tabicada genera, constructivamente en el espacio, una directriz curva por la que pasan los esfuerzos a compresión de la fábrica, gracias a que hay los gruesos apoyos perimetrales de **muros de carga**, caja de escaleras, etc., aunque pueden evitarse dichos empujes disponiendo tirantes de acero que, normalmente, quedan vistos.

En **el grado de curvatura** o suavidad de la misma, se conocen los auténticos maestros de obra o expertos en la materia, puesto que al tratarse la fábrica de un material frágil, si la línea de esfuerzos a compresión se sale de su directriz curva (a menos que se acartelen) la bóveda colapsa bruscamente, sin quedar como ejemplo construido.

Los Guastavino, en Norteamérica, incorporan algunas armaduras, a base de barras lisas o pletinas, para controlar los esfuerzos de tracción localizados, lo que aplican en los zunchados de las bóvedas, aprovechándose además de la ventaja de que a finales del siglo XIX y principios del XX, el ladrillo mejoró su cualidad resistente, gracias a la fabricación industrial, pudiéndose confiar en él como material estructural, aún en delgadas proporciones.

La habilidad de los Guastavino se fundamentó en incorporar los atirantados o refuerzos metálicos correspondientes, en el interior del propio grueso de fábrica (entre las distintas hojas), haciendo **estructuras protegidas frente al fuego** (cuando se empleaba la madera) y pudiendo aumentar significativamente las luces de los espacios a cubrir, gracias a emplear una técnica constructiva muy lige-

ra y el cemento “Portland” acabado de inventar, posterior fundamento del incipiente hormigón armado.

No hay que olvidar que en las bóvedas tabicadas, es fundamental que el proceso de **solape** de las juntas **entre las piezas**, se mantenga también **entre las distintas hojas** o “voltas”, ya que su eficacia definitiva reside en la **cohesión** interna adquirida entre el ladrillo y el mortero de cemento, lo que queda perfectamente expresado en las patentes de los Guastavino en norteamérica.

Las características formales de las obras de los Guastavino, pasan por el **tabicado** muy rebajado denominado por su forma, tipo **“barril”**, que incorpora un **tirante inferior que se postensa** con la propia flecha del forjado, en combinación con bóvedas de medio punto o rebajadas de grandes proporciones como en San Juan el Divino.

Luis Moya durante la posguerra, revivió la construcción tabicada en sus Iglesias y la Universidad Laboral de Gijón. Con ello consiguió cubrir luces significativas con el mínimo empleo de acero que sólo se aplicaba para zunchar o atirantar las bóvedas y cúpulas realizadas la mayoría de las veces con nervaduras de arcos tabicados o bien, costillas de fábrica en el trasdós para su refuerzo. Las peculiaridades constructivas de esta técnica, la publicó Luis Moya en su libro de *“Bóvedas Tabicadas”*.

LA CERÁMICA ESTRUCTURAL POSTENSADA

Dieste en un país del sur como Uruguay, tuvo que agudizar el ingenio para hacer sus originales cubiertas empleando ladrillo y mortero junto con el acero en grandes proporciones.

Para poder armar la denominada por su autor “cerámica estructural”, **prescinde del aparejo** entre las piezas, las cuales se disponen, la mayoría de las veces, **“en retícula”**, ofreciendo por tanto, la posibilidad de disponer una malla de armado bidireccional siguiendo la retícula entre las piezas.

Frente a la pérdida inicial de resistencia por la falta de aparejo o traba entre las piezas, se añade aquí la ventaja de incorporar el acero bidireccionalmente en su conjunto y concentrado en mayor cuantía en los correspondientes tirantes, embebidos en el interior del grueso de las bóvedas de fábrica.

La invención de la **“bóveda gausa”** de Dieste, supone un entendimiento estructural, constructivo y espacial de gran aportación, ya que logra cubrir con su geometría ondulada, grandes espacios (más de 50 m) con extremada ligereza y rebajada curvatura, aunque claro está, disponiendo gruesos tirantes que contrarrestan empujes.

Su tecnología de artilugios para diseñar **encofrados móviles**, que se desplazaban con el **rápido fraguado** de sus cubiertas cada 12 horas, supusieron una revolución en el proceso constructivo que se adelantó muchísimo a los paraboloides de Candela, hechos totalmente de hormigón armado, y mucho más costosos y pesados.

Su logro con las bóvedas “gausas” de la Iglesia de la Atlántida, incorporando acero en su interior, multiplican por tres las prestaciones de las bóvedas de las Escuelas de la Sagrada Familia de Gaudí, tal y como ya expuse en el artículo de 1992.

Aprovechando uno de los viajes de Dieste a España, me elaboró el cálculo de los empujes de un nuevo tipo de bóveda tabicada inspirada en su tecnología, para reconstruir las de las cubiertas de las Escuelas de la Sagrada Familia, que no son originales, ya que se quemaron en la Guerra Civil.

La gran aportación de Dieste está, sin embargo, en que plantea por primera vez, el **postensado** en esbeltos muros y bóvedas de formas planas o curvas, con lo que logra comprimir al material de fábrica, haciéndolo trabajar en sus óptimas condiciones.

EL VIRTUOSISMO CERÁMICO

El Arquitecto **Carlos Mijares**, ya bien entrado el siglo XX, construye su arquitectura cerámica, en hábil combinación con el hormigón armado, cuando le es necesario.

Su obra se desarrolla espacialmente a partir de una sencilla construcción de **arquivoltas de arcos concéntricos de medio punto**, sobrevolando medio pie uno sobre otro, generando grandes **trompas** que se apoyan sobre 2 lados de la esquina de un cuadrado.

Este tipo de construcción, **no requiere cimbras**, al apoyar unas arquivoltas sobre otras, y son de fácil ejecución, al poder emplear una cuerda fijada en la base, que materializa los distintos radios de giro de cada arquivolta en el espacio.

El efecto se enfatiza jugando con la **geometría de cuerpos** cúbicos de planta cuadrada, que se transforma en un octógono por el **giro de 45°** sobre sus ejes, al aprovechar los triángulos en planta que quedan entre ambas figuras en sucesivos niveles, acomodando en ellos las trompas de arquivoltas, alternando su situación hacia el exterior o el interior de los edificios, ubicando las **pechinas** de las bóvedas.

El formalismo de sus creaciones, ha sido incluso retomado literalmente en nuestro país por Fernando Higueras en la Iglesia de Pozuelo.

La organización constructiva de sus fábricas, suele plantear **muros capuchinos** que albergan cajones huecos en su interior, donde pueden acomodarse fácilmente pilastras y vigas de una estructura porticada de **hormigón armado**.

El Arquitecto colombiano, Rogelio **Salmona**, ha destacado internacionalmente por el empleo masivo del ladrillo en su obra, resaltando el juego de **aparejos y piezas especiales**, ampliando y enalteciendo el lenguaje del ladrillo.

LA SUBDIVISIÓN DEL MURO

Juan Manuel Ros cubre con su Tesis Doctoral, el vacío existente en los inicios del **muro de dos hojas** o “cavity wall” en la arquitectura madrileña de los años 30.

La Arquitectura madrileña de los ensanches, basada en una nueva normativa de mayor exigencia de **control energético**, propició el cambio constructivo de los cerramientos que se extendió a toda la Península.

Su trabajo nos muestra cómo la arquitectura fue liberándose cada vez más de los muros de carga, al tiempo que empezaban a emplearse las estructuras porticadas de hormigón armado y los **muros de cerramiento** empezaban a aligerarse o ahuecarse para incorporar en su interior los primeros **aislantes** a base de **planchas de corcho**.

LA INNOVACIÓN DE LAS FÁBRICAS DEL SIGLO XXI

El director-autor de este Monográfico, es bien conocido por experimentar con el incremento de prestaciones que ofrece el armado en la albañilería.

Sin embargo, el proceso manual de ejecución de la fábrica por el albañil, que ha de lograr levantarla de forma estable (empleando sólo mortero, aunque aprovechando la acción de la gravedad), le obliga a solapar las piezas en el sentido vertical, quedando sólo los planos horizontales de los tendeles en continuidad para poder armar fácilmente.

El paso de la fábrica tradicional, aparejada y cara vista, a la fábrica armada en las dos direcciones de plano del tendel, empleando para ello cerchas prefabricadas, fue la aportación realizada en el Monográfico anterior.

Las **armaduras de tendel prefabricadas**, están recogidas en la norma NE 854-3 “Armaduras de tendel prefabricadas” y se habló de ellas con profundidad en el Monográfico anterior, y han supuesto un gran avance técnico desde su implantación hace más de 12 años en nuestro país, para controlar la fisuración de la albañilería.

Las innovaciones, con patentes españolas aportadas en este tiempo, son tan significativas que ya están revolucionando el uso de la albañilería en su sentido amplio internacionalmente.

Las **3 Patentes de Invención de Adell** a destacar en este campo, entre otras son:

- 1) Método para diseñar las piezas de fábrica (ladrillos y bloques) para poderse armar verticalmente por acceso lateral a las mismas y su tipología.
- 2) Tipología del armado vertical de las fábricas, para adquirir nuevas prestaciones con una muy fácil colocación por el albañil y sólo con mortero.
- 3) Diseño de apoyos de cerramientos muy distanciados, hasta la vertical de los soportes, aprovechando el efecto arco atirantado de la fábrica armada.

Estos inventos, junto a otros, constituyen el **SAI: Sistema de Albañilería Integral (AllWall)** que tanto **Normabloc** como **Hispalyt**, apoyaron en su día para que se incorporara en un anexo del **CTE SE-F**, aunque queda todavía por ver el resultado del documento impreso.

Estos planteamientos están teniendo un gran éxito por sus ventajas constructivas y rapidez de ejecución, con economía de materiales para muros esbeltos de grandes proporciones, lo que suele darse en cerramientos industriales de bloque de hormigón hueco, para lo que se ha diseñado el "**Bloc+**", que optimiza la tecnología del armado vertical en combinación con el armado horizontal.

Respecto a los cerramientos de ladrillo cuando se emplea el SAI, se ofrecen varias posibilidades constructivas diferenciadas, según la tipología edilicia, que responden a las denominaciones de **Cerramientos Alfa, Beta, Gamma y Omega, que se corresponden con Autoportante, Semivolado, Cortina y Prefabricado.**

A todo ello hay que añadirle el **Apoyo Pi**, que resuelve por fin la problemática de las plaquetas en los cerramientos semivolados, al disponer ya un **apoyo continuo con todo el ancho del ladrillo por delante del forjado** y separado de él para obtener una cámara ventilada continua, bien impermeabilizada y aislada, con un coste muy razonable frente a lo existente hasta ahora en el mercado, por lo que Halfen ha hecho el desarrollo técnico de la invención española, para aplicarla internacionalmente.

Una **síntesis de las innovaciones** desarrolladas en nuestro país y admiradas en todo el mundo, se presentó en el "**Arco del Milenio**", construido en el verano del año 2000, delante del Palacio de Congresos del Paseo de la Castellana de Madrid, en ocasión de la 12ª Conferencia Interna-

cional de Albañilería (**12th IBMAC**), presidida por el director-autor de este Monográfico.

El "**Arco del Milenio**", lo constituía una superficie cilíndrica espacialmente inclinada, dejando un arco de fábrica fuera de la vertical, capaz de soportar compresiones, flexiones, tracciones y torsiones, gracias a la nueva técnica de armado desarrollada.

El "**Ladriflor**" empleado de formato catalán, permitió alojar en su interior, los anillos de los estribos cerrados, quedando el material totalmente visto por sus 4 lados, y empleando sólo mortero en lugar de hormigón entre las hileras.

LA NORMATIVA SOBRE FÁBRICAS

Actualmente, las características de fabricación de cada tipo de material de fábrica (cocido o aglomerado), junto con la diversidad de densidades y/o perforaciones, a lo que hay que añadir la correspondiente puesta en obra con una determinada traba regular o aparejo, permite construir diversos tipos de muros, caracterizados por su anisotropía en las tres direcciones del espacio, variando su resistencia poco o mucho, en función del número y tamaño de las perforaciones, altura de las piezas, densidad...

El grado de **anisotropía de cada tipo de pieza de fábrica** se tiene en cuenta a la hora de clasificar los materiales para entrar en el cálculo, ya que en función de las distintas resistencias que ofrezca el muro en cada una de las tres direcciones del espacio, las prestaciones son distintas (lo que se contempla con precisión tanto en el **EC-6**, como en el futuro **CTE SE-F**).

Coexiste actualmente **una doble tendencia constructiva: construir muros homogéneos** del grueso del ancho de una sola pieza (de ahí que se fabriquen piezas de diversos anchos) para economizar la puesta en obra, junto con la **construcción de muros de fábrica de 2 hojas** atadas entre sí, que impiden el paso de humedades y mejoran el aislamiento térmico de la edificación.

Gracias a la investigación experimental del que suscribe, se puede aumentar sustancialmente las prestaciones resistentes de un muro de 2 hojas (**Duplex Cavity Wall, DCW**), empleando armaduras de tendel tipo cercha a caballo de ambas hojas, lo que una vez ensayado en los laboratorios del Torroja, el CEDEX y la ETSAM en nuestro país, fue **aceptada como una alternativa fiable** que se incorporó al **EC-6** para toda Europa, lo que también recogerá el próximo **CTE SE-F**.

Un gran experto en cálculo nos descubre los vacíos que todavía tienen las fábricas en la normativa, dada la difi-

cultad de su estandarización, quedándose actualmente el EC-6, prácticamente en la construcción de muros, ya que no amplía la aplicación del cálculo a los elementos abovedados, aunque sí hace referencia al **efecto arco** en horizontal entre muros de arriostramiento, lo que es muy discutible considerarlo en sentido vertical, como parece pretender el CTE SE-F, especialmente en edificios en altura, donde las deformaciones estructurales y expansiones cerámicas, se suman al efecto arco del viento, en cerramientos de $\frac{1}{2}$ ' de ladrillo, con dificultades de apoyo en el borde de los forjados, con las habituales diferencias existentes en el plano del frente de los forjados.

LA REHABILITACIÓN

Hacia el final hay un artículo sobre rehabilitación, donde se expone con claridad la problemática existente a la hora de **identificar** y conservar **las obras de fábrica tabicadas** que con tanta abundancia existen en Cataluña, y que desgraciadamente muchas veces son destruidas por menosprecio, descuido o por **falta de los conocimientos** adecuados, sobre su originalidad y su especial técnica constructiva. Se concluye el Volumen II con una interesantísima aportación de Santiago Huerta sobre el entendimiento del «equilibrio» de los arcos y bóvedas de fábrica.