

**aplicaciones
arquitectónicas
de los materiales
compuestos
y aditivados**

II
jornada
nacional

escuela técnica superior de arquitectura
universidad politécnica de madrid

avda. Juan de Herrera Nº 4
28040 MADRID - ESPAÑA

aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados

1034

**Madrid
11 de diciembre
1992**

escuela técnica superior de arquitectura
universidad politécnica de madrid

**departamento de construcción
y tecnología arquitectónicas**

proyecto de investigación Nº PB 87/0805

CICYT

II jornada

- Existen ya sistemas de cerramientos prefabricados ligeros provistos de revestimiento exterior cerámico con rendimientos adecuados y períodos de experimentación amplios, dotados de garantía y producidos por empresas de suficiente solvencia.
- En los sistemas existentes intervienen diferentes componentes cuyas características deben estudiarse de forma específica para garantizar la compatibilidad interna y las condiciones de resistencia y estabilidad ante las diversas acciones previsibles.
- Es conveniente que los sistemas se adopten de forma integrada para poder garantizar su comportamiento, y que las tareas se realicen preferentemente en taller.
- Los sistemas actuales deben evolucionar hacia la producción de los paneles laminados sobre matriz cerámica, de forma que se reduzca el número de componentes y de procesos.

11. Bibliografía

- CARBARY, L.D.; SCHOENHERR, W.J.: "Structural Silicone Sealants Used to Adhere Stone Panels on Exterior Building Facades", en *New Stone Technology, Design and Construction for Exterior Wall System*, ASTM STP 996, B. Donaldson, Ed., American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1988, pág. 160-165.
- CHIN, I.; KROGSTAD, N.V.; MONK, C.B., Jr.: "Influence of Tie Flexibility, Relative Length, and End - Boundary condition on Brick Vennert - Metal Stud Flexural Bond Stress", en *Masonry: Materials, Design, Construction and Materials*, Filadelfia, 1988, pág. 96-117.
- FISHER, Th.: "Facing Tile", en *Progressive Architecture*, octubre 1984, pág. 113-119.
- HERNANDEZ, R.J.: *Aligeramiento y Modernidad. La construcción de la nueva arquitectura*. Tesis doctoral. E.T.S. de Arquitectura, Pamplona, 1991.
- LAFAYETTE, M., Jr.: "Stone Veneer Glass Fiber Reinforced Concret Panels", en *New Stone Technology, Design and Construction for Exterior Wall System*, ASTM STP 996, B. Donaldson, Ed., American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1988, pág. 128-133.
- LOPEZ, W.; OBERMEIER, T.: "Thin Stone Veneers - A Steel/Silicone Diaphragm System", en *New Stone Technology, Design and Construction for Exterior Wall System*, ASTM STP 996, B. Donaldson, Ed., American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1988, pág. 137-140.
- MCURAIN, J.: "Prefabricated Exterior Ceramic Tile Cladding", en *Progressive Architecture*, abril 1990, pág. 139-142.
- SMITH, R.C.; ANDRES, C.K.: *Materials of Construction*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1988, 4ª Edición.
- WOOD, R.C.: "Rediscovering Marble and Natural Stone", en *New Stone Technology, Design and Construction for Exterior Wall System*, ASTM STP 996, B. Donaldson, Ed., American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1988, pág. 141-151.

Este artículo se ha tomado de la publicación de la revista "INFORMES DE LA CONSTRUCCION" vol 44, nº 421, septiembre/octubre 1992, del Instituto Eduardo Torroja, editada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid-España.

II Jornada Nacional. "Aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados". Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. Diciembre 1992.

RAZÓN Y SER DE LA FÁBRICA ARMADA

(REASON AND BEING OF THE REINFORCED MASONRY)

Josep M.ª Adell Argilés, Dr. Arquitecto

Profesor Titular del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas
Escuela T.S. de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid
Miembro del Subcomité español CTN 140/SC6 "Estructuras de fábrica"
ESPAÑA

Fecha de recepción: 11/IX/92
Aceptación: 24/X/92

RESUMEN

Se analizan las razones arquitectónicas que impulsan la necesidad de considerar al acero como un nuevo componente de las fábricas.

Se exponen las posibles maneras de conseguir dicha combinación siguiendo el ser esencialmente constructivo de la albañilería.

La fábrica resultante de ello es un nuevo material compuesto, de carácter arquitectónico, que puede constituirse en tipología estructural.

SUMMARY

This article is an analysis of the reasons why steel can be seen as a new component of masonry.

It explains the ways in which steel can be effectively used in masonry.

The combination of steel and masonry can be regarded as a new composite material, which can extend architectural boundaries through its structural use.

"Cada material tiene una personalidad específica y distinta, y cada forma impone un diferente fenómeno sensorial. La solución natural de un problema —arte un artefacto—, óptima frente al conjunto de impuestos previos que lo originan, impresiona con su mensaje, satisfaciendo, al mismo tiempo, las exigencias del técnico y del artista. El nacimiento de un conjunto estructural, resultado de un proceso creador, fusión de técnica con arte, de ingenio con estudio, de imaginación con sensibilidad, escapa del puro dominio de la lógica para entrar en las secretas fronteras de la inspiración. Antes y por encima de todo cálculo está la idea, moldeadora del material en forma resistente, para cumplir su misión".

A esa idea, va dedicado el libro "Razón y ser de los tipos estructurales", escrito por Eduardo Torroja (1).

RAZÓN ARQUITECTÓNICA

El acero en el siglo XX ha revolucionado la Arquitectura, con su capacidad a tracción. Como constitutivo de las estructuras de perfiles laminados o de hormigón armado ha permitido el trabajo a flexión de los elementos estructurales. La viga ha sustituido al arco.

Las fábricas se caracterizan por una buena capacidad de trabajo a compresión frente a una despreciable a tracción.

El arco, gracias a su organización constructiva, permite salvar el vano, obligando a un recorrido curvo de los esfuerzos a compresión, lo que se traduce en empujes sobre los apoyos, función de su peralte.

El ritmo vertical de vacíos y macizos, de arcos y estribos, ha presidido la composición de las fábricas durante siglos.

El empuje del arco puede evitarse, si es absorbido por la tracción del acero de un tirante. El conjunto "arco-tirante" transmite solamente cargas verticales, permitiendo diseñar la arquitectura de fábrica con apoyos de más esbeltas proporciones.

Para evitar los problemas de corrosión del acero se aconseja un tratamiento eficaz. El hormigón cumple perfectamente esta labor envolviendo las armaduras.

Louis Kahn, el Arquitecto norteamericano, expresó el camino hacia la fábrica armada, con originales planteamientos de gran riqueza arquitectónica, combinando el acero y la fábrica (Fig. 1).

Se tiene la necesidad de lograr una estudiada combinación de los materiales de fábrica con el acero, que permita actualizar el comportamiento de las fábricas de acuerdo con las técnicas de construcción de nuestro tiempo. El objetivo está en solventar la problemática sobre la fisuración que presentan las fábricas, potenciando a la vez sus posibilidades arquitectónicas.

Veamos a continuación algunas de las razones que apoyan esta idea.

En el siglo XIX, el ladrillo se consideró como una pieza modular fabricada contando con el ancho de las juntas, lo que regularizó la construcción de las fábricas. El aparejo con su variada pero estricta ordenación, constituye un primer paso hacia la modernidad. Los muros que eran lo suficientemente gruesos y de organización homogénea podían cumplir a la vez todas las funciones requeridas (2).

En nuestro siglo, por cuestiones económicas y de eficiencia, el muro se ha dividido en hojas. El muro capuchino, o "cavity wall", se ha impuesto como la solución más idónea para la mayoría de las fábricas.

Es habitual separar las funciones "resistente" y de "acondicionamiento" que tradicionalmente cumplían las fábricas de gruesos muros por sí mismas, y resolver la estructura con reticulados de acero u hormigón armado, quedando las fábricas con una función especializa-

da de cerramiento. Además esto permite mayor libertad en la composición de los huecos que pueden variar su ritmo vertical por la horizontalidad.

Los materiales que hoy día se fabrican para la albañilería se han especializado en alguno de los cometidos que han de cumplir en la fábrica.

Si dejamos al margen los materiales pétreos, que han pasado a utilizarse casi exclusivamente como chapados, podemos destacar:

- Los materiales cerámicos que suman a sus valores de tradición y cualidades higrotérmicas, los de elevada resistencia. Los hay poco pesados, como los bloques cerámicos aligerados
- Los conglomerados de hormigón, que destacan por sus grandes piezas huecas que pueden armarse verticalmente, permitiendo gran variedad de colorido y tratamientos de acabado
- Los morteros celulares, que añaden a su gran ligereza y tamaño un magnífico comportamiento termico frente al fuego, con muy buen acabado y fácil trabajabilidad.

Por los avances experimentados en la construcción de obras de fábrica, se prevé un aumento en la aplicación de la albañilería en los próximos años (3).

Por razones de economía, en material, espacio, mano de obra etc... las fábricas toman el mínimo grueso posible: el ancho de las piezas. Éstas se fabrican del máximo tamaño que permita su manejabilidad, lo que lleva a construir muros de fábrica de gran esbeltez.

La esbeltez de las fábricas compromete su estabilidad frente a acciones diversas, debiendo recurrir al atado de hojas, anclajes a soportes, forjados, etc. Este hecho da lugar a conexiones entre la estructura y el cerramiento que interfieren a la actuación libre de ambos. Por consiguiente, la supuesta separación de funciones de hecho es más teórica que real en la práctica, especialmente a lo largo del paso del tiempo por efectos diferenciales en los movimientos y asentamientos de la estructura y del cerramiento.

Las estructuras de acero y de hormigón arrastran en sus deformaciones a las fábricas, caracterizadas por poseer materiales de gran rigidez, produciendo en ellos la fisu-

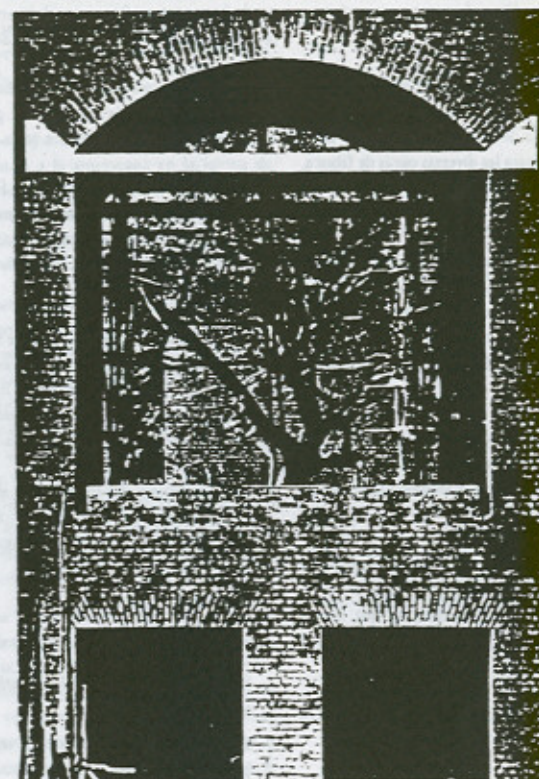


Fig. 1 - Arco rebajado de fábrica de ladrillo. Tirante de hormigón armado. (Louis Kahn. Instituto Hindú de Cuadros, Ahmedabad 1963).

ración. Se acusa una patología general de amplio espectro, que no se manifestaría en el caso de que las fábricas tuvieran capacidad a tracción.

La calidad de vida en Europa hoy día no admite la aparición de fisuras en las fábricas. Las Constructoras, Casas de Seguros, la Administración, etc. necesitan poder garantizar que no se produzca esta patología. En muchos países, como Bélgica, Holanda, Suiza, etc., esto es objeto de especial atención, existiendo una amplia experiencia en el conocimiento de las causas que generan la fisuración de las fábricas y en cómo evitarlas con el armado (4).

Si se consideran las funciones que cumplen los materiales de fábrica en una edificación analizando sus cualida-

des, pronto se comprueba que difícilmente pueden sustituirse por materiales de otra índole, dado el alto grado de idoneidad a que han llegado.

Sin embargo, la masa que estos materiales aportan a la edificación podría aprovecharse con capacidad estructural, dadas sus cualidades resistentes, colaborando en soportar el edificio, lo que en vez de ser una carga añadida a la estructura se convertiría en un ahorro de ésta.

Aprovechar el material de albañilería del cerramiento, medianeras, caja de escaleras, etc. para que actúe además como fábrica resistente, supone un importante ahorro en el coste de la obra e incide en el ahorro energético global del proceso de edificación.

Diéste lo expresa con el concepto de "economía cósmica", entendido como el aprovechamiento óptimo de las cualidades de la materia. Véase la estructura cerámica en "Las bóvedas de la Atlántida" (5).

Para aumentar la capacidad estructural de las delgadas fábricas de albañilería sin aumentar su grueso, es necesario estudiar una forma de armado que lo haga posible. Ésta ha de ser válida para las diversas obras de fábrica, y por supuesto también para las que cumplen un papel estático-resistente.

Otra causa importante que obliga a introducir el acero en las fábricas es el sismo. En España hay varias zonas de grado sísmico elevado, donde se plantea el problema de la necesidad de tener que construir obras de fábrica dúctiles. La normativa sobre el tema exige armar la fábrica en estos casos.

La experiencia sísmica italiana nos es de gran ayuda, habiendo sido reflejada por el profesor Calvi en el artículo "Cálculo de estructuras de fábrica armada contra el sismo" (6).

Junto a estas razones que suscitan la necesidad de armar las fábricas, no podemos olvidar los valores de carácter histórico, estético, del entorno, etc. que suelen ser muy decisivos a la hora de escoger determinados materiales de la albañilería.

Incluso es habitual aplicarla en contraste con los muros cortina de vidrio.

SER CONSTRUCTIVO

Analizadas algunas de las razones que aconsejan armar la fábrica, queda encontrar el cómo hacerlo.

La consideración genérica de "la fábrica", que contempla en una sola expresión varios tipos de materiales distintos, organizados constructivamente, obliga a la búsqueda de una "forma generalizada de armar la fábrica" que se acomode a las reglas de ejecución de la albañilería.

De poco sirven las pautas del hormigón armado cuando éste se trata de un líquido que se vierte dentro de un encofrado donde previamente se ha dispuesto la ferralla, organizando los redondos con libertad direccional y dimensional.

Por el contrario, la obra de fábrica, que tiene la ventaja de no requerir encofrado, se levanta por niveles, colocando las piezas en discontinuidad vertical de llagas, sentadas en los tendeles horizontales de la fábrica.

A la hora de "armar la fábrica", habrá que contemplar pues la "técnica de la albañilería", para encontrar las opciones que la fábrica ofrece para ello.

A pesar de que existen materiales de fábrica diversos que pueden dar lugar a fábricas con distintas combinaciones y aparejos, permanece como constante la ejecución por niveles de la albañilería, haciéndose los tendeles con escaso grueso de mortero.

Para poder armar "cualquier tipo de fábrica", habrá que aprovechar "los tendeles" como "invariantes" que son de la albañilería, ya que la mayoría de los materiales no disponen de huecos lo suficientemente amplios para poder introducir armaduras por ellos.

El "escaso grueso del tendel", de alrededor de 1 cm. y la necesidad de un suficiente recubrimiento de mortero envolviendo la armadura, "obliga a armar con alambres", en vez de con redondos.

Sin embargo, "armar con alambres" sin más, tiene "enormes dificultades" desde un punto de vista práctico:

- la dificultad de manejar los alambres sueltos por su tendencia a enrollarse,
- la dificultad de colocarlos en el tendel en la posición precisa para poder cumplir su cometido estructural, puesto que se desplazan al colocar las piezas

Todo ello hace necesario diseñar una "organización prefabricada de alambres" que mantenga una forma estable, asegure una adecuada colocación en la fábrica y, además, permita no entorpecer el normal proceso de ejecución de la albañilería al armarla.

Una vez desarrollado un sistema eficaz de armar la fábrica, este deberá ir acompañado de toda una investigación en laboratorio y en obra que lo refrende, así como de un Manual que de a conocer la adecuada aplicación de la nueva técnica.

La industria que se ha ocupado de esta problemática, elabora "armaduras prefabricadas planas para tendeles" de manera idónea. Existen básicamente dos tipos distin-

tos de éstas: la que se utiliza en América desde hace cincuenta años, y la versión más desarrollada de Europa, con dos décadas de experiencia.

La armadura europea Murfor fabricada por la casa Belga BEKAERT, aventaja a la americana en la forma de mantener paralelamente unidos los dos alambres principales mediante un alambre diagonal en zig-zag, dispuesto en el mismo plano de los longitudinales (Fig. 2).

El grueso del conjunto es de solamente los 4 ó 5 mm de diámetro del alambre principal (existe la variante de pletina con sólo 2 mm de grueso, para juntas de mortero cola). Su estructura, al estar triangulada, es indeformable. La triangulación aumenta la adherencia de la armadura prefabricada con el mortero del tendel y absorbe las tensiones de rasante entre los paramentos interior y exterior de la fábrica por diferencias térmicas y/o acciones horizontales. Al tratarse de un alambre continuo, no presenta puntos de discontinuidad propensos a la corrosión, suponiendo además un 40% extra de acero a favor de la seguridad.

Para poder satisfacer el amplio campo de aplicación de las fábricas armadas, es necesario prefabricar las armaduras planas con una amplia gama de separaciones estándar, puesto que existen materiales de fábrica diversos, cada cual con su proporción y tamaño. Las fábricas se pueden organizar combinándolas entre sí, en razón de las cualidades a exigir al conjunto de las hojas de fábrica: estabilidad, resistencia, aislamiento, estética, etc.

Es importante resaltar que, con estas armaduras prefabricadas, no sólo se puede armar cada muro de fábrica, sino armar entre sí diversas hojas, permitiendo muros doblados o capuchinos de mayor inercia con fábricas de distintas características. Su uso supone gran facilidad de ejecución con ahorro de tiempo y coste (Fig. 3).

Los campos de aplicación de la fábrica armada, así como los consejos para su colocación, que es algo bien conocido en otros países, requiere que se dé una adecuación a la normativa y a las circunstancias de cada lugar.

El que suscribe ha elaborado el Manual Murfor sobre la fábrica armada para BEKAERT, recogiendo las particularidades de nuestro país para dar a conocer las grandes posibilidades de esta nueva técnica (7).

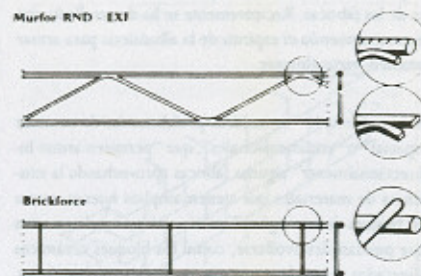


Fig. 2 - Armaduras prefabricadas planas para la fábrica armada

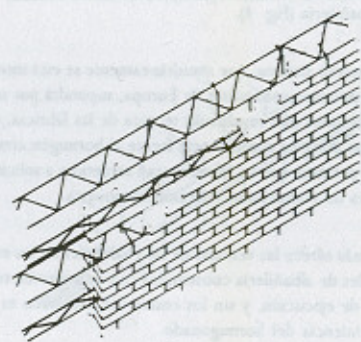


Fig. 3 - Muro capuchino de fábrica armada, con hojas de distinto material de fábrica

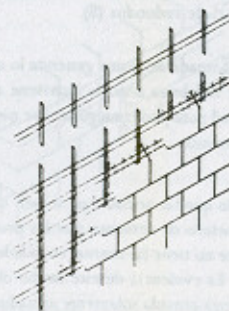


Fig. 4 - Armadura tipo al tridimensional para la fábrica armada

La disposición horizontal de armaduras en los tendeles no puede resolver todos los planteamientos estructurales de las fábricas. Recientemente se ha desarrollado una técnica siguiendo el espíritu de la albañilería para armar también verticalmente.

Se han diseñado "armaduras prefabricadas de carácter espacial" o "tridimensionales", que "permiten armar bidireccionalmente" algunas fábricas aprovechando la existencia de materiales que tienen amplios huecos, como los bloques de hormigón. También se ha pensado en otros que puedan desarrollarse, como los bloques cerámicos aligerados y con huecos, que ya se fabrican en Suiza.

La patente Murfor RE, en honor al Ingeniero suizo Reinle que la ideó, permite armar horizontal y verticalmente a la vez la fábrica, siguiendo el proceso de ejecución de la albañilería (Fig. 4).

Este nuevo sistema, que simultáneamente se está introduciendo en varios países de Europa, supondrá por sus prestaciones una revolución técnica de las fábricas, ya que las pone en competencia frente al hormigón armado al permitir que las fábricas sean sometidas a solicitaciones de compresión y flexión compuesta.

Además ofrece las ventajas de las cualidades de los materiales de albañilería construidos con una sencilla técnica de ejecución, y sin los costes del encofrado ni la dependencia del hormigonado.

En la Universidad de Lieja se han ensayado estas armaduras modulares con cercos, ofreciendo resultados más satisfactorios que los correspondientes al armado de los bloques huecos de hormigón, con equivalente armado convencional de redondos (8).

Una vez planteada de forma genérica lo que constituye "el ser" de la fábrica armada, conviene afrontarlo con toda seriedad para poder asegurar que no habrá problemas de corrosión.

Es conocido que las armaduras, si bien quedan envueltas con mortero de cemento que las protege de la corrosión, éste no tiene las mismas cualidades que un buen hormigón. La evidencia de este hecho obliga a utilizar para la fábrica armada solamente armaduras prefabricadas con un tratamiento suficientemente garantizado.

Realizar ocasionalmente en obra algún refuerzo de fábrica con redondos, que apenas tendrán recubrimiento de mortero dado su excesivo grueso frente al del tendel y sin tratamiento alguno, es una temeridad que hay que eludir porque termina provocando la corrosión con las consiguientes consecuencias negativas.

La experiencia belga con armaduras Murfor, suficientemente contrastada en laboratorio y en la realidad, aconseja armaduras galvanizadas en paredes interiores, galvanizadas más un recubrimiento de capa epoxi para exteriores, e incluso de acero inoxidable para ambientes industriales o muy agresivos. Véase el artículo de Pfeffermann y Haseltine "El desarrollo de armaduras para tendeles a lo largo de dos décadas" (9).

Aparte del armado por tendeles que constituye la "fábrica armada", por cuanto es válido para cualquier material de albañilería, existen otras formas de armar las fábricas localizadamente, las cuales consisten en adaptar las piezas a las pautas del armado. Estas otras formas deben entenderse más bien como maneras de "reforzar la fábrica", por cuanto no constituyen un armado homogéneo de las mismas. No obstante, en determinadas situaciones, pueden ser de gran interés en combinación con la fábrica armada (10).

TIPO ESTRUCTURAL

Considerar a la fábrica armada como un "tipo estructural" nuevo quizá sea algo excesivo, ya que participa de las cualidades de otros tipos claramente diferenciados, y porque muchas veces colabora con otros sin desempeñar un papel independiente.

No obstante, es evidente que los conceptos genéricos de "la fábrica" y "fábrica armada", tal y como se han expuesto, tienen importantes diferencias en su forma de comportarse gracias a la colocación de armaduras prefabricadas en los tendeles.

La fábrica armada añade a las cualidades propias del material de fábrica utilizado la capacidad de soportar al mismo tiempo: "deformaciones impuestas", "flexiones verticales" y "flexiones horizontales".

Analicemos sencilla y separadamente estos conceptos (Fig. 5).

(A) "Fábrica sometida a deformaciones impuestas"

Las causas comunes que generan deformaciones impuestas son de orden térmico como la DILATACIÓN o la CONTRACCIÓN, o bien por motivos reológicos como la RETRACCIÓN. Esto obliga a hacer juntas de dilatación que eviten la fisuración del material de fábrica a distancias regulares máximas dependiendo del material.

En una fábrica homogéneamente armada, es decir, con armaduras regularmente dispuestas en los tendeles de "ancho (a)" y "alto (h)", se puede aumentar sensiblemente la "longitud (l)" de separación de juntas en los paños de fábrica. Este aumento de la longitud es función de la separación vertical de los tendeles armados y del tipo de material de fábrica utilizado.

Para que esta armadura considerada secundaria sea eficaz debe contemplar un mínimo del 0,05% de la sección del muro.

(B) "Fábrica sometida a flexión vertical"

Como los materiales de albañilería son incapaces de soportar las tensiones que se producen en la zona traccionada de una fábrica sometida a flexión vertical, será preciso disponer en ella la cuantía de armado precisa a tracción como armado principal.

La "acción" que será capaz de soportar una fábrica de "ancho (a)" sometida a flexión vertical entre apoyos a una "luz (l)" concreta, dependerá de las posibilidades que haya de ubicar las armaduras de manera localizada a una "altura efectiva (he)".

Esta altura efectiva estará en función de la separación vertical de los tendeles, que depende de la altura de las piezas y del grueso del muro y ancho de las armaduras prefabricadas usadas.

Visto de otra forma, para una acción conocida como puede ser la carga de un DINTIL, o el peso de un MURO DIVISORIO sometido a efecto arco por descenso de la base de apoyo (comúnmente el forjado) de una fábrica de "ancho (h)" y alto (h), se podrá aumentar la "luz (l)" del vano entre apoyos en función del armado que se disponga en los tendeles inferiores, siempre que haya suficiente canto eficaz (he).

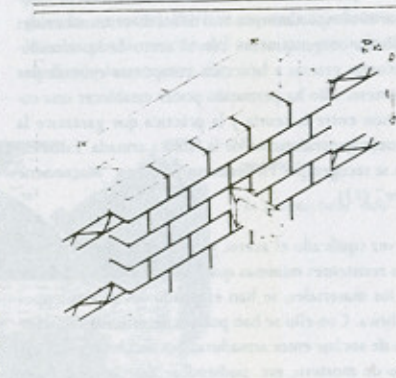
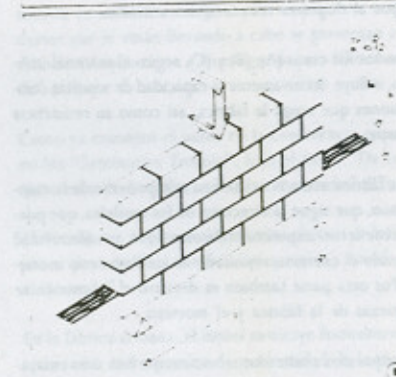
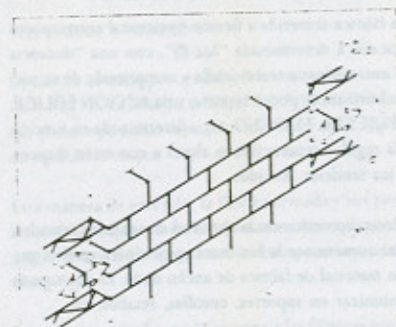


Fig. 5. Fábrica armada sometida a diversas solicitaciones.
(A) Fábrica sometida a deformaciones impuestas.
(B) Fábrica sometida a flexión vertical.
(C) Fábrica sometida a flexión horizontal.

(C) "Fábrica sometida a flexión horizontal"

Una fábrica sometida a flexión horizontal entre apoyos verticales a determinada "luz (l)", con una "distancia (d)" entre la zona traccionada y comprimida de su sección horizontal, podrá soportar una ACCIÓN EÓLICA, EMPUJE DEL TERRENO, etc., determinada en función de la regular separación en altura a que estén dispuestos los tendeles armados.

Es decir, aumentando la cantidad de tendeles armados, podrá aumentarse la luz entre apoyos para un determinado material de fábrica de ancho dado, lo que supone economizar en soportes, costillas, retallos, etc.

O por el contrario, podrá economizarse en el grueso del material de fábrica a utilizar si se mantiene la luz entre apoyos al disponer más tendeles armados.

En todos los casos (A), (B) y (C), según el material utilizado, influye decisivamente la capacidad de soportar compresiones que tenga la fábrica, así como su resistencia al corte.

En la fábrica armada existe una componente de la compresión, que sigue la dirección de los tendeles, que puede obtenerse experimentalmente. De su efectividad depende el correcto rejuntado de las llagas con mortero. Por otra parte también es decisivo el rasante entre las piezas de la fábrica y el mortero.

Los supuestos analizados teóricamente han sido ensayados con muretes escala 1:1 en laboratorio, a fin de comprobar el comportamiento real de los diversos materiales de fábrica conjuntamente con el acero de las armaduras Murfor gracias a la acción compuesta ejercida por el mortero. Ello ha permitido poder establecer una correlación entre la teoría y la práctica que garantice la adecuada generalización de la fábrica armada. Estos ensayos se recogen por Pfeiffermann y Baty en "Maçonnerie armée" (11).

Una vez tipificado el acero, y después de fijar las cualidades resistentes mínimas que han de cumplir el mortero y los materiales, se han ensayado los diversos tipos de fábrica. Con ello se han podido determinar las longitudes de anclaje entre armaduras, los recubrimientos mínimos de mortero, etc. pudiéndose fijar las reglas que permiten garantizar el funcionamiento del sistema en base a estas armaduras específicas.

Los principios de cálculo de la fábrica armada, así como la elaboración de tablas de cálculo que simplifiquen los casos más habituales, han sido preparados por el profesor Lahuerta y recogidos en el Manual Murfor de BEKAERT, exponiéndose en su artículo (12).

El cálculo de la fábrica armada toma como referencia el del hormigón armado. La versión española del manual aporta un sustancial matiz respecto a otros países, ya que el técnico puede aceptar la fisuración controlada debido a cargas permanentes a la hora de calcular dinteles de fábrica armada bajo la carga de forjados.

Las ventajas que reporta la combinación del acero y la cerámica han sido analizadas en el libro "El muro de ladrillo" de Hispalyt, con el título "Los materiales cerámicos y la fábrica armada" (13).

NUEVO MATERIAL COMPUESTO ARQUITECTÓNICO

Las tres formas básicas de trabajar de una fábrica armada por tendeles, se han expresado por separado en (A), (B) y (C) para facilitar la exposición (Fig. 5).

En la realidad es habitual que se superpongan varias de estas acciones o inclusive todas ellas en una misma fábrica, lo que se afronta perfectamente sin más que disponer la cuantía de armado precisa y en la ubicación correcta, según las solicitaciones existentes.

Sin embargo, para poder ajustarse lo más posible a la cuantía de armado requerida, puede ser preciso utilizar varios anchos de armaduras prefabricadas, con el fin de que quepan más de una en un tendel (flexión vertical), o bien para garantizar la correcta posición del alambre traccionado con el máximo brazo que permita el grueso de la fábrica (flexión horizontal).

De todo ello se deduce que, al igual que en el hormigón armado, en la fábrica armada es posible dosificar (ajustar) la cuantía del armado y su disposición, si bien esta limitada por la separación y anchura de los tendeles y en función de la altura y anchura de las piezas.

El borrador de la nueva normativa europea E.C.O. contempla la cuantía mínima de armado que ha de tener una fábrica para considerarse "fábrica armada", citándolo en el mínimo del 0,05% de la sección de la fábrica, que ha de distribuirse uniformemente. Esto equivale,

según el grueso de fábrica, a disponer armaduras cada 40 ó 60 cm de altura (14).

Si se construye la fábrica siguiendo los anteriores consejos, el producto obtenido puede considerarse como un nuevo material compuesto. Sus cualidades y características se corresponden con las del material de las piezas, soportando el acero la tracción de las acciones previamente calculadas evitando al tiempo la fisuración. El mortero se encarga de ejercer la acción compuesta entre la matriz y la fibra.

El nuevo material compuesto "fábrica armada" es dúctil en vez de frágil y tiene un comportamiento homogéneo, puesto que además tiene el armado mínimo regularmente repartido que impide la rotura frágil sin presentar, por armarse, heterogeneidad con perfiles o zunchos de hormigón.

El Arquitecto, Ingeniero, etc. tienen la posibilidad de "crear" el material compuesto "fábrica armada" con la proporción de armado necesaria y su colocación precisa, de acuerdo a criterios de diseño propios en beneficio de la construcción arquitectónica.

Las fábricas así diseñadas, podrán relacionarse con hojas de otras características, soportar cargas de forjados, acciones de viento, empujes de terrenos, atar encuentros de muros..., incluso constituirse en la estructura del edificio, eludiendo los puentes térmicos.

La fábrica armada viene a ocupar un vacío existente entre los materiales de construcción, a mitad de camino entre la obra de fábrica tradicional y el hormigón armado.

"LA FÁBRICA ARMADA"

La fábrica armada por tendeles debe entenderse como "UN NUEVO MATERIAL COMPUESTO ARQUITECTÓNICO", que permite potenciar la Arquitectura tanto desde el punto de vista de la técnica como de la forma.

Esta manera de entender la fábrica armada y sus posibilidades fue expuesta en la I Jornada sobre aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivos (15).

Las ventajas que el armado reporta a las fábricas son evidentes; el enriquecimiento que puede obtener la arquitectura con una sabia revitalización de las fábricas está todavía en sus inicios. Algunas de las primeras realizaciones que se están llevando a cabo se presentan en el artículo "Arquitectura e Investigación con fábrica armada" (16).

Como ya comentó el autor en la conferencia expuesta en los "Seminarios Torroja", bajo el título "De la Arquitectura de Ladrillos a la fábrica armada" (17).

En la evolutiva mejora de las fábricas, a través de los tiempos: se pasó de "la trabazón" "al aparejo" y éste da paso al "armado".

En la fábrica armada, el dintel sustituye formalmente al arco como corresponde a la modernidad de la técnica, pero el material internamente trabaja a compresión, siguiendo una tendida directriz arqueada de esfuerzos equilibrados por la tracción del acero que actúa de tirante eludiendo los empujes (Fig. 6).



El arco existe aunque no se evidencia:

"la fábrica tiene vida".

Fig. 6 - Arco rebozado de fábrica armada.
(Josep M^o Adell. Viviendas en la Plaza de la Remonta. Madrid (1991).)

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Eduardo Torroja. *Razon y ser de los tipos estructurales*. Textos universitarios. Consejo S. de Invest. Científicas. Madrid 1ª edición 1957, 7ª edición 1991.
- (2) Josep M.ª Adell. *La Arquitectura de ladrillos del siglo XIX. Racionalidad y modernidad*. Arquitectura de ladrillos del siglo XIX. Técnica y forma. Libro: Fundación Universidad Empresa, Madrid 1985. Artículo: Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (3) Walter Mann. *Avances en la construcción de obras de fábrica*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (4) Jan Seasse. *La postura holandesa frente al control de la fisuración*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (5) Josep M.ª Adell. *Los bóvedas de la Alameda*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (6) Michele Calvi. *Cálculo de estructuras de fábrica armada contra el sismo*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (7) Josep M.ª Adell. *La fábrica armada. Manual*. Murfor de Bekaert. Bekaert Iberica, S. A. Barcelona 1992.
- (8) Luiz Oliveira. *La armadura tridimensional para la fábrica armada*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (9) Oscar Pfeiffermann / Barry Haselaine. *El desarrollo de armaduras para tendeles a lo largo de dos décadas*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (10) Bernstein / Champetier / Peiffer. *Nuevas técnicas en la obra de fábrica*. Edt. Gustavo Gili, Barcelona 1985. (1ª edición París 1982).
- (11) Pfeiffermann / Bary. *Maçonnerie Armée*. Centre Scientifique et Technique de la Construction. N.º 26. Comptes rendus d'étude et de recherche. Bruselas 1981.
- (12) Javier A. Lahuerza. *Cálculo de la fábrica armada*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (13) Josep M.ª Adell. *Los materiales cerámicos y la fábrica armada*. El muro de ladrillo. Hupalyt. Madrid 1992.
- (14) Eurocode EC6. Part 2. *Reinforced masonry structures*. Commission of the European Communities. Bruselas 1989.
- (15) Josep M.ª Adell. *La fábrica armada un nuevo material arquitectónico*. Aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados. 1ª Jornada 13.XII.91. Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas de la Escuela T. S. de Arquitectura de la U.P. de Madrid.
- (16) Josep M.ª Adell. *Arquitectura e Investigación con fábrica armada*. Informes de la Construcción n.º 421, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (17) Josep M.ª Adell. *De la Arquitectura de ladrillos a la fábrica armada*. Seminarios Torroja, conferencia 7.XI.91. Informes de la Construcción n.º 416, Instituto Eduardo Torroja. Madrid. Consejo Sup. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.

...

Este artículo se ha tomado de la publicación de la revista "INFORMES DE LA CONSTRUCCION" vol 44, n.º 421, septiembre/octubre 1992, del Instituto Eduardo Torroja, editada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid-España.

II Jornada Nacional. "Aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados". Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. Diciembre 1992.

ARQUITECTURA E INVESTIGACIÓN CON FÁBRICA ARMADA

(ARCHITECTURE AND RESEARCH WITH REINFORCED MASONRY)

Josep M.ª Adell Argilès, Dr. Arquitecto
Profesor Titular del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas
Escuela T.S. de Arquitectura-Universidad Politécnica de Madrid
ESPAÑA

Fecha de recepción: 4.IX.92
6.II.92

RESUMEN

Las primeras aplicaciones de la fábrica armada con voluntad arquitectónica, son expuestas por el Arquitecto autor de las obras.

Las originales realizaciones mostradas, son reflejo del entendimiento de la fábrica armada, como un nuevo material compuesto arquitectónico.

La investigación llevada a cabo, de carácter técnico-formal, desarrolla planteamientos teóricos y prácticos, en busca de mejorar el funcionamiento de las fábricas en la Arquitectura.

SUMMARY

The Architect, author of the works, offers the first applications of the reinforced masonry with architectural will.

The original realizations shown here are reflections of the understanding of the reinforced masonry as a new composite architectural material.

The technical-formal research which has been carried out develops the theoretician and practical ideas searching for better functioning of masonries in Architecture.

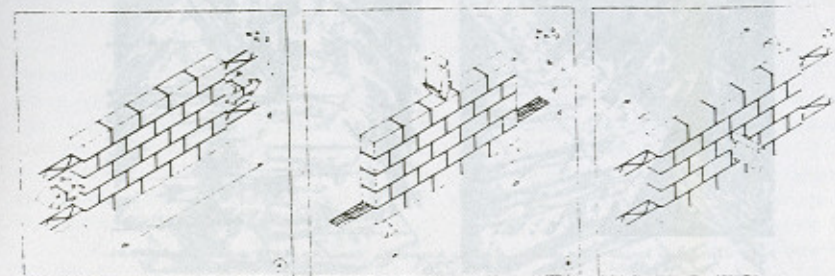


Fig. 1 - Fábrica armada a) Deformaciones b) Flexión vertical c) Flexión horizontal

VERSIÓN 1

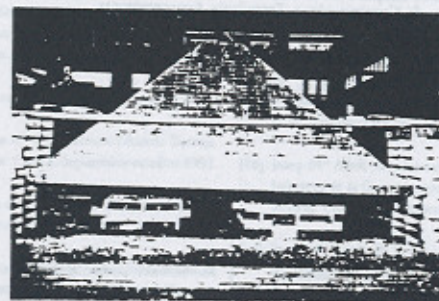
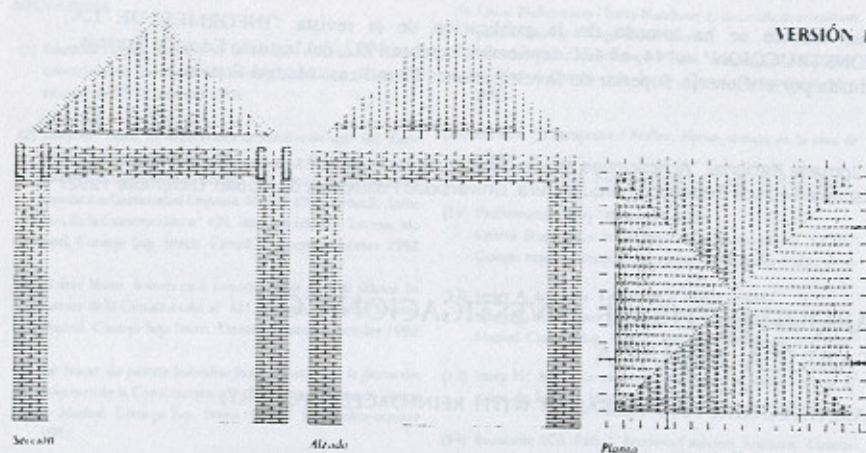


Fig. 2 - Tetrapolono Versión "1". Cubierta con bóvedas horizontales. Armaduras Marfón dispuestas en los tendidos.

226

VERSIÓN 2

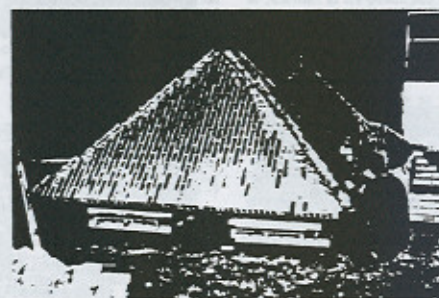
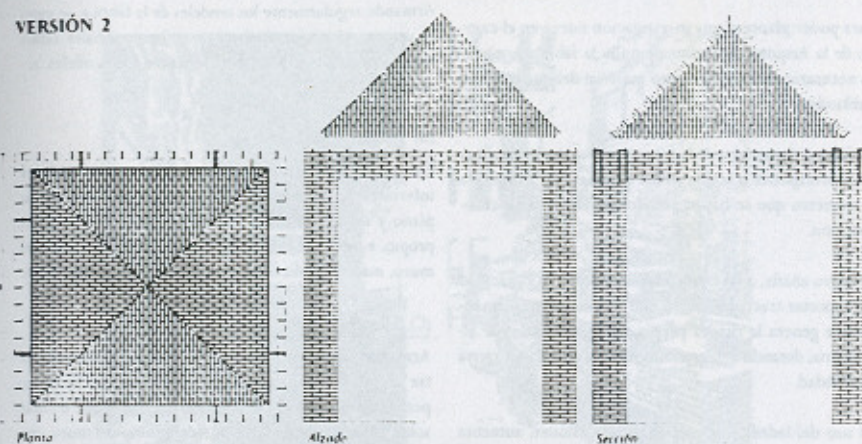


Fig. 2 - Tetrapolono Versión "2". Cubierta con bóvedas verticales. Armaduras Marfón a través de los huecos del alfilerado Pálau.

227

INTRODUCCIÓN

Para poder plantear una investigación nueva en el campo de la Arquitectura, considerando la fábrica armada, es necesario conocer el nuevo material del que estamos hablando.

La fábrica como tal, puede tener distintas cualidades, como corresponde a la diversidad de piezas de albañilería y morteros que se hayan podido utilizar para su construcción.

El acero añade, a las cualidades anteriores, la capacidad de soportar tracciones. Con ello se evita la problemática que genera la rigidez propia de los materiales de albañilería, dotando al compuesto, fábrica armada, de cierta ductilidad.

El uso del ladrillo, de pequeñas dimensiones, aumenta las posibilidades de disponer el armado en la fábrica, al ofrecer ésta mayor densidad de tendeles. Además, su buena resistencia a compresión permite obtener mayor rendimiento de la incorporación del acero. Sin embargo, son notorias las ventajas que se derivan del uso de la fábrica armada con otros materiales.

Con la fábrica armada se abre un amplio campo de investigación, que permite potenciar los aspectos técnicos y formales del uso de las fábricas en la Arquitectura.

La investigación que se presenta surgió de considerar armar la fábrica, posteriormente a estar realizadas las estructuras de los edificios, limitándose pues a cerramiento, particiones, remates...

Considerar las posibilidades arquitectónicas de la fábrica armada, desde la fase de proyecto, permitirá planteamientos más globales, donde las fábricas asuman compromisos estructurales, con notable ahorro del proceso de ejecución, y en beneficio de la calidad de la edificación.

EL "ABC" DE LA FÁBRICA ARMADA

En Razón y Ser de la Fábrica Armada, se expresan con amplitud los fundamentos de esta investigación. (1)

Antes de entrar en las aplicaciones arquitectónicas, conviene recordar las formas de trabajar que tienen las fábricas armadas. Simplificando, existen los tres casos siguientes (Fig. 1):

(A) Aumento de separación de juntas de dilatación

Armando regularmente los tendeles de la fábrica, se ejerce un control sobre sus movimientos longitudinales, tanto mayor cuanto más próximos se sitúen los tendeles armados.

(B) Flexión vertical

Colocando localizadamente armaduras en los tendeles inferiores de la fábrica, podrá soportar flexiones en su plano y salvar una distancia entre apoyos con su peso propio, e inclusive sobrecargas, en función del canto del muro, material utilizado y cuantía del armado dispuesto.

(C) Flexión horizontal

Armando regularmente los tendeles de una fábrica, entre apoyos ortogonales a ellos, podrá soportar flexiones perpendiculares a su plano, debido a cargas que incidán sobre el paramento, en función del grueso del muro, material utilizado y separación de tendeles armados.

Los casos expuestos permiten solucionar, con fábrica armada, problemas típicos de la albañilería, evitando la fisuración:

(A) Dilatación, contracción, retracción.

(B) Dinteles, tabiques con fallo del apoyo.

(C) Acción del viento, empuje del terreno.

Estos tres ejemplos, analizados por separado, pueden darse conjuntamente en la edificación, constituyendo el "ABC" de la "fábrica armada", entendida como un "material compuesto".

INVESTIGACIÓN ARQUITECTÓNICA TÉCNICO-FORMAL

El "material compuesto" - "fábrica armada", no necesariamente tiene que aplicarse siempre para casos convencionales. Es más, puede servir para experimentar y enriquecer la Arquitectura.

El "ABC" de la fábrica armada, de aplicación para fábricas a plomo, puede considerarse fuera de la vertical, en planos inclinados, ya que este nuevo material compuesto puede soportar flexiones.

Para resaltar los accesos al edificio de viviendas en "El Espinillo", se han diseñado dos "tetrapilones" en ladrillo, con ligeras variantes entre ellos (Figs. 2).



Fig. 3a—Dinteles dobles de fábrica armada coronando el tetrapilón cúbico.

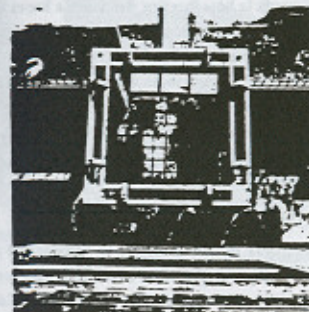


Fig. 4a—Vista en Planta de los dinteles dobles de apoyo de las cubiertas de los tetrapilones.

Se trata de dos cubos de 4 m de lado, definidos por sus aristas de fábrica de 50 cm de ancho. La cubierta de planos a 45° está resuelta con fábrica armada de 1/2' de espesor, quedando vista tanto por arriba como por debajo.

La cubierta carga sobre las aristas perimetrales del cubo, constituidas por dobles dinteles de 3 m de luz, 50 cm de canto y 11,5 cm de ancho. En sus primeras y últimas hiladas se han utilizado ladrillos macizos de plano.

Para aumentar el brazo mecánico efectivo del dintel, sin aumentar su canto, se han dispuesto dos armaduras Mur-



Fig. 3b—Prueba de carga en obra de los dinteles dobles.



Fig. 4b—Apoyos metálicos a la espera de soportar la cubierta prefabricada del tetrapilón.

for de 30 mm en el primer tendel, seguido de una de 50 mm en el segundo. En el ensayo realizado a pie de obra se ha aumentado 7 veces la carga prevista, sin siquiera manifestarse signos de fisuración (Fig. 3 a y b).

La originalidad de estas cubiertas de fábrica reside en que son de planos rectos trabajando a flexión, que no generan empujes al no tener curvatura, y que están constituidas de una sola rosca.

Las cubiertas llevan la investigación de la fábrica armada al campo de los prefabricados, habiéndose realizado en taller

La construcción de las cubiertas de los tetrapilones, en dos versiones "1" y "2", da personalidad propia a cada una de ellas.

Externamente las cubiertas se distinguen por la dirección de sus hiladas, si bien en ambos casos el armado se ha dispuesto horizontalmente en anillos. En un caso, las armaduras se sitúan en los tendeles horizontales, mientras que en el otro atraviesan las perforaciones de marca del ladrillo Palau.

La versión "1", constructivamente sencilla y lógica, contrasta con la "2" de gran dificultad. La ubicación de los solapes de las armaduras, conformación de esquinas, cortes de piezas, etc., son muy distintos en ambos casos. Se han utilizado armaduras Murfor inoxidable de 50 milímetros de ancho.

Posteriormente a su transporte conjunto especial, se posan sobre los tetrapilones.

Para dar la sensación de que las cubiertas descansan en el aire, se han diseñado apoyos triangulares metálicos, que las elevan sobre los dinteles que las sostienen, dejando pasar la luz entre ellos. El contacto entre dichos elementos se ha hecho interponiendo neoprenos a modo de juntas. (Fig. 4 a y b).

"ACW": INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DEL CERRAMIENTO DE FÁBRICA (4)

El cerramiento "Autoportante Cavity Wall" (ACW) plantea solucionar las causas de patología que presentan los muros capuchinos, debido a las conexiones existentes entre ambas hojas de fábrica.

El ACW supone una apuesta por un cerramiento de calidad, donde se aprovechen mejor las cualidades de los materiales de fábrica, se evite la fisuración, se perfeccione el comportamiento térmico y se solventen los problemas de humedad.

El espíritu del ACW consiste en construir y mantener separadas ambas hojas del "cavity wall", sin llaves de atado entre ellas. Ello permite que tengan un comportamiento estático independiente, solucionando por separado la actuación de cada una de ellas, sin implicarse entre sí, aunque cumplan un funcionamiento conjunto como cerramiento.

Es posible independizar ambas hojas, en amplios paños de fábrica, si se hace la hoja exterior autoportante pasando por delante de los forjados, y se construye con fábrica armada, considerándola como un material compuesto con las cualidades "ABC" expuestas.

El cerramiento armado "ACW", se construye en "cuatro etapas", "de dentro a fuera" y "de abajo a arriba", considerando una edificación de estructura reticular. Para facilitar la exposición se ha utilizado como "cerramiento tipo" el del bloque de viviendas en "El Espinillo", del mismo autor (Fig. 5).

1ª Etapa: Levantamiento de la estructura

Se levanta la estructura colocando los perfiles que permitirán anclar la fijación de la hoja exterior (1A).

Los soportes y forjados de la estructura mantendrán el mismo haz exterior, o frente (1B).

Habrà que proveer el tipo de apoyo para el arranque de la hoja exterior (4A).

2ª Etapa: Ejecución de la hoja interior del cerramiento

Se levanta la hoja interior del ACW a haces de estructura (1B). En prevención de fisuración, por exceso de flecha del forjado, se armarán las primeras hiladas del tabique. Se apoyará la hoja sobre una lámina de separación, y dispondrá una junta comprensible e ignífuga en su parte superior junto al forjado (2A).

Se organizará el espacio para la caja de persiana (2B).

3ª Etapa: Aplicación del aislamiento

Construida la hoja interior, se colocará el aislamiento proyectado o en planchas, evitando los puentes térmicos. El ACW permite garantizar la eficacia del aislamiento, al disponerse adherido exteriormente a la hoja interna, en continuidad sobre elementos estructurales, tabiquería, caja de persianas, etc. (3A).

Es necesario colocar algún tipo de barrera ignífuga, a nivel de forjado, que evite la propagación del fuego por la cámara (3B).

4ª Etapa: Construcción de la hoja exterior de fábrica armada

Se levanta la hoja exterior posteriormente a la colocación del aislamiento, dejando la separación prevista para la cámara de aire, ventilada al exterior a través de llagas sin rellenar.

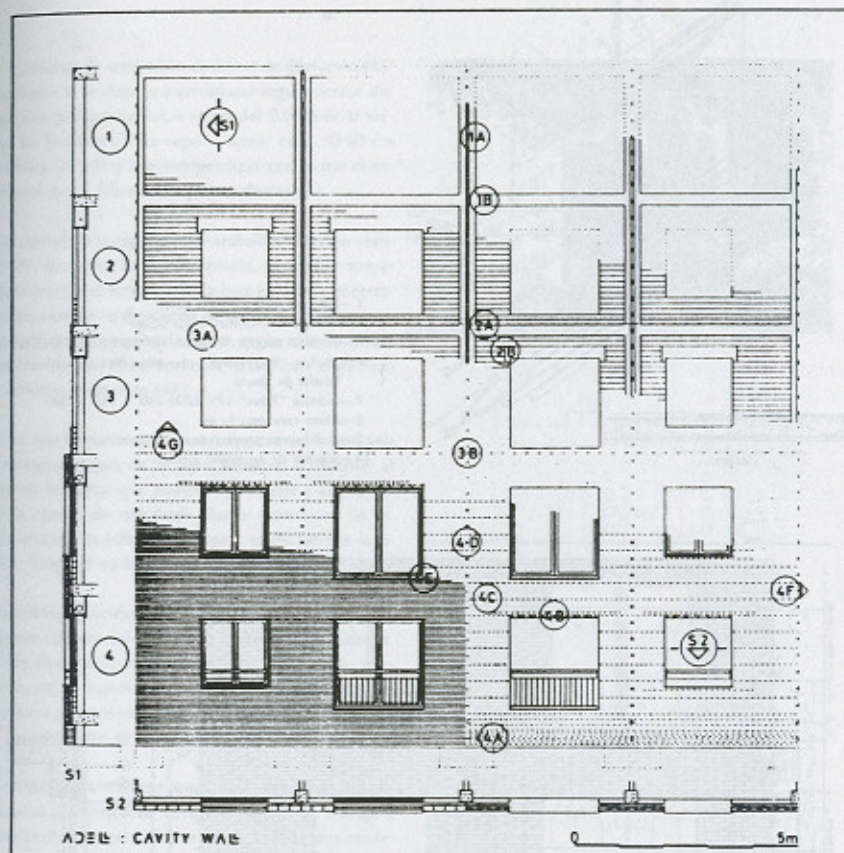


Fig. 5 - "Autoportante Cavity wall"

Proceso de construcción del "ACW" con hoja exterior autoportante de fábrica armada

1ª ETAPA: LEVANTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

- 1A - Perfil para los anclajes de la hoja exterior
- 1B - Soportes y forjados al mismo frente

2ª ETAPA: EJECUCIÓN DE LA HOJA INTERIOR DEL CERRAMIENTO

- 2A - Armado inferior y regular de la hoja interior
- 2B - Caja de persianas a haces de tabiquería

3ª ETAPA: APLICACIÓN DEL AISLAMIENTO

- 3A - Aislamiento aplicado en continuidad
- 3B - Barrera ignífuga a nivel de forjado

4ª ETAPA: CONSTRUCCIÓN DE LA HOJA EXTERIOR DE FÁBRICA ARMADA

- 4A - Arranque en apoyo discontinuo del muro autoportante
- 4B - Armado de dinteles de fábrica armada
- 4C - Armado regular de la hoja exterior de fábrica armada
- 4D - Anclaje de la hoja exterior a los perfiles 1A
- 4E - Relación entre carpintería, ventanillas, guisa persiana
- 4F - Junta de dilatación o cambios de plano
- 4G - Remate superior en peto de cubierta o junto a forjado

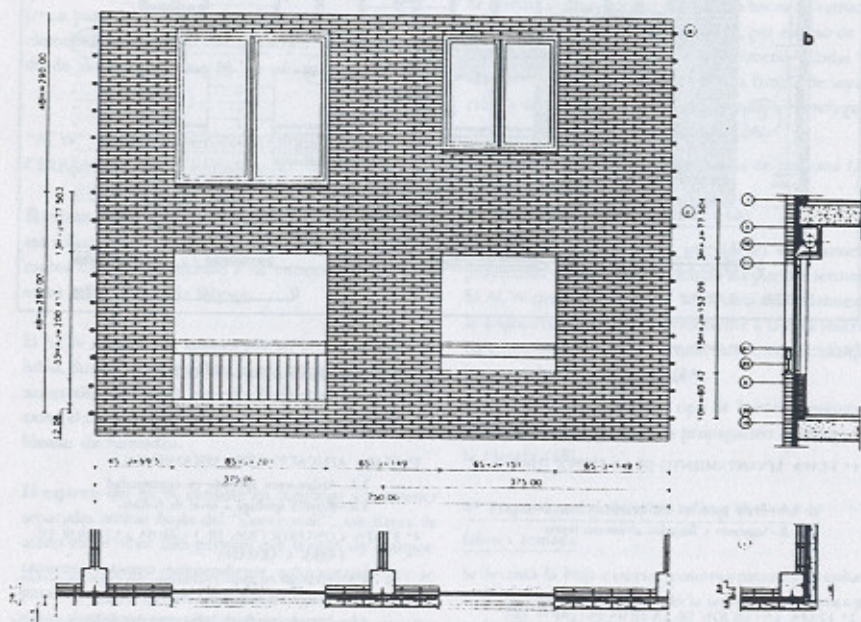
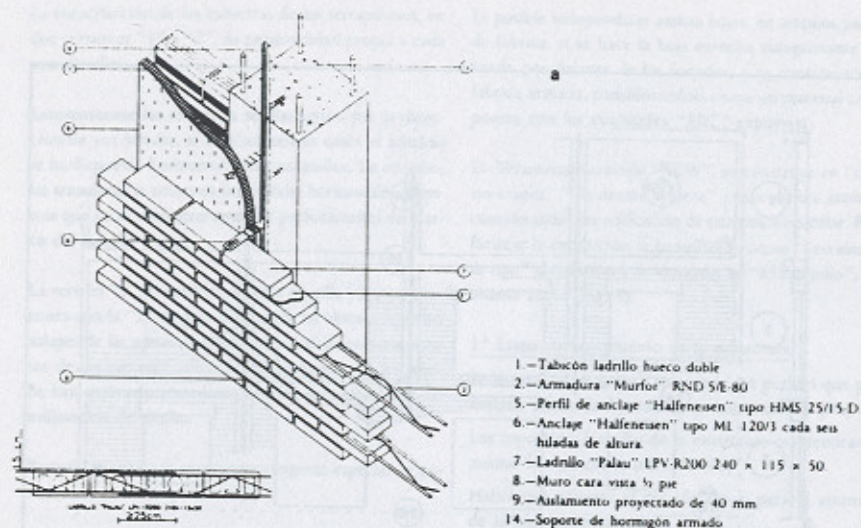


Fig. 6 a y b.—Alzado y detalles del "ACW" para el cerramiento del edificio de "El Espinillo".

El "Aumento de separación de juntas de dilatación (A)" es notable si se disponen armaduras regularmente distribuidas en los tendeles, a razón del 0,05% de la sección de la fábrica. Esto supone armar cada 30-50 cm de altura (4F). Hay que independizar con juntas el encuentro de las fábricas de planos distintos.

Si se considera la capacidad de trabajo a "Flexión vertical (B)" que tiene la fábrica armada, es posible apoyar puntualmente el arranque de la hoja exterior del cerramiento, caso de no disponerse de una base de apoyo continuo. El armado correspondiente, según cálculo, podrá ajustarse de acuerdo al ancho de la fábrica y al número de tendeles existentes (4A).

Habrà que disponer una barrera impermeable próxima al arranque, capaz de recoger, canalizar y expulsar al exterior las aguas que pudieran infiltrarse y descender por la cámara de aire desde plantas superiores. La barrera evitará también que las aguas asciendan por la fábrica, desde el suelo, por capilaridad.

Esta misma capacidad de trabajo a "Flexión vertical (B)", permite también salvar el vacío de los vanos de fábrica. En los dinteles de los huecos podrá dejarse visto inferiormente el material de fábrica. Las piezas se sujetan mediante ganchos engarzados en la armadura de la hilada superior, que se introducen en las llagas (4B).

La fábrica regularmente armada por tendeles, con armaduras prefabricadas, tienen capacidad de trabajo a "Flexión horizontal (C)" entre apoyos verticales convenientemente distanciados. Esta cualidad se aprovecha en el ACW para evitar tener que atar ambas hojas entre sí (4C).

Si se arman los tendeles de la fábrica cada 40-50 cm de altura, se pueden salvar luces normales (de 4 a 6 m) con fábricas de gruesos habituales (en España los anchos de los ladrillos comunes son 115 ó 140 mm), frente a una acción de viento de valor intermedio.

Al levantar la fábrica se irán colocando las llaves (4D) sobre el perfil (1A). Se utilizará el anclaje apropiado, que asegure las libertades de movimiento de la hoja exterior, horizontal y verticalmente dentro del plano de fachada, en función de las dimensiones del paño de fábrica armada entre juntas (4F) (Fig. 6 a y b).

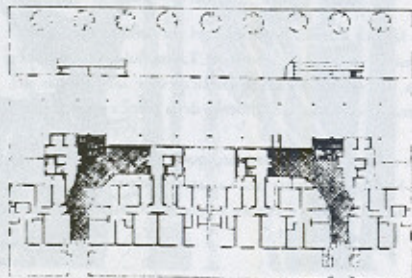
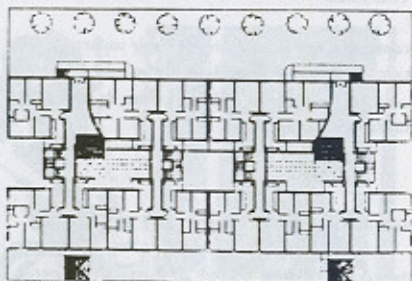
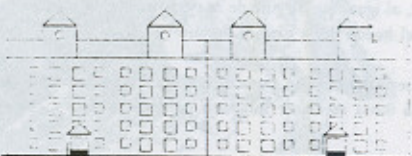


Fig. 6 a y b.—Alzado y detalles del edificio de "El Espinillo".

Para aplicar el ACW en alturas superiores a 3 ó 4 plantas, es necesario hacer cálculos precisos, ya que los movimientos de dilatación vertical de la hoja exterior son apreciables. Este movimiento puede limitarse repitiendo el ACW por tramos de varias plantas pasantes entre forjados de apoyo.

En el remate del peto de cubierta, o bajo el vuelo del forjado de arranque de otro muro superior, se mantendrá también la independencia de ambas hojas en su coronación (4G).

El buen funcionamiento del ACW sólo es posible cuidando el diseño de aquellos elementos que relacionan ambas hojas, con el fin de garantizar el libre movimiento entre ellas.

La carpintería se recibirá solamente sobre la hoja interior, al igual que la guía de la persiana que se ubicará en el hueco de la cámara de aire.

El vierteaguas sujeto a una de las hojas recogerá y alejará la lluvia mediante solapes y goterones (4E).

Pretender mejorar el cerramiento, no nos ha de impedir ver que el ACW tiene también sus dificultades, entre ellas están:

- contar con que la hoja interior ha de soportar la acción del viento durante la construcción,
- cuidar la ejecución de la hoja exterior de fábrica armada con sus anclajes.

EDIFICIO DE VIVIENDAS EN "EL ESPINILLO"

Edificio de 76 Viviendas VPO en "El Espinillo", Villaverde, Madrid. EMV-Ibercisa 1989-1992. Arquitectos JM Adell D. de la Piedra. (Fig. 7).

La fábrica armada constituye el cerramiento de "El Espinillo" en toda su amplitud. La modulación, los huecos, las juntas, etc., son partícipes de las ventajas del armado, evitando la fisuración de la fábrica en el tiempo.

Sin embargo, el cerramiento que envuelve la estructura de hormigón supone una variante sobre el planteamiento del "ACW", por cuanto la hoja exterior también apoya en los forjados.

La composición de fachada combina huecos cuadrados de dos tamaños. Los de 2 m para el estar-comedor y los de 1,5 m para dormitorios. La luz mayor de hueco aprovecha la longitud de la armadura prefabricada de 3 m, contando con sus 50 cm de anclaje a cada lado, para organizar el dintel sin requerir solapes. (Fig. 9 a y b).

Los dinteles de los huecos muestran la tabla de las piezas de ladrillo macizo a soga, evitando el puente térmico que generan los cargaderos habituales de otros materiales.

Toda la fábrica exterior, de medio pie de grueso, está armada cada 6 hiladas de altura, siguiendo la modulación vertical de fachada en ocho grupos de 6 hiladas por planta. (Fig. 8 a y b).

En la disposición de los huecos, se ha hecho coincidir el correspondiente tendel armado de la modulación a la altura del dintel, cumpliendo así la armadura la triple función "ABC".

Gracias a estar los tendeles armados cada 36 cm de altura, las juntas de la fábrica cerámica se han podido distanciar hasta coincidir con las de la estructura de hormigón cada 33 metros.

En los petos de cubierta, las armaduras han permitido unir las dos hojas de fábrica de piezas distintas, realizadas en diferentes fases de obra, permaneciendo en espera entre ambas.

El edificio está situado en un barrio de nueva ordenación, donde destaca por su sencilla volumetría y composición. De lejos se reconoce por sus cuatro torreones que, de cerca, recuerdan sus dos tetrapilones.

Se trata de dos bloques escalonados paralelos a fachada, de 5 plantas de altura, con patios centrales entre torreones de escaleras rematados con cubiertas de ladrillo a cuatro aguas.

El acceso se hace bajo el tetrapilón situado en el jardín delantero, y da paso a un portal que sorprende por sus paredes unduladas.

El portal relaciona la zona común entre el jardín de acceso, y el posterior con una escalinata de juegos que salva el desnivel de la calle, situada bajo una pergola a cuatro aguas.

El programa de viviendas se resuelve con sólo 4 tipos distintos de 2, 3 y 4 dormitorios.

Las fábricas inclinadas de las cubiertas de ladrillo resaltan sobre las planas fachadas de sobria composición.

Los tetrapilones, con su desnudez estructural, dan idea de que la fábrica armada preside la construcción del edificio.



Fig. 8 - Construcción de dinteles con fábrica armada.

a) Hueco 2 m en fábrica de 1/2' mostrando la tabla de los ladrillos macizos P4L4U3.

b) Hueco de 2,50 m en fábrica de 1'.

Colocación de los ganchos para dinteles en las lagas de las piezas de la primera hilada, engarzados en las armaduras. Murfies dispuestas sobre el tendel.

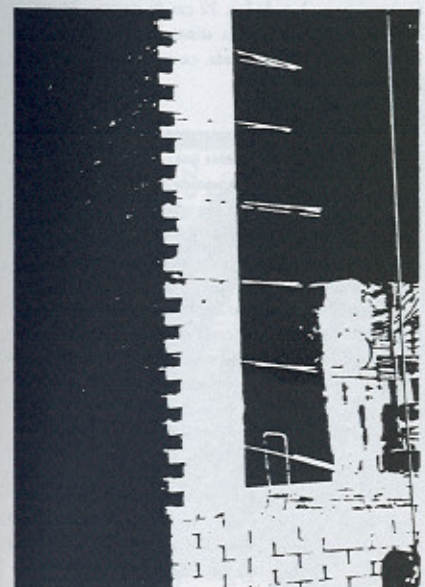
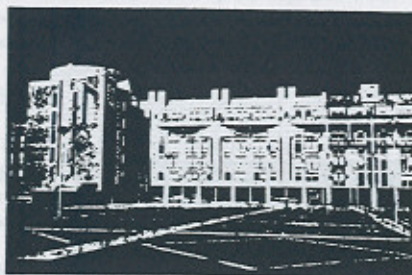


Fig. 9 - Construcción del cerramiento de 1/2' spandril. a) Hoja exterior con armadura en las tablas de algarra. b) Colocación de la armadura Murfies en un tendel.



EDIFICIO DE VIVIENDAS EN LA PLAZA DE LA REMONTA

Edificio de 57 viviendas VPO. Plaza de la Remonta, Tetuán, Madrid. EMV-Corviam 1988-1991. Arquitectos JM Adell y Colaboradores. (Fig. 10).

La fábrica armada se ha utilizado también en este edificio, de forma incipiente, pero significativa.

En la esquina entre la plaza y la calle Maestros Ladrilleros, se levanta un torreón cilíndrico, que remata el edificio con una terraza abierta sobre la ciudad.

La fábrica armada soluciona con sencillez, homogeneidad y economía, las esbeltas alas que flanquean el torreón circular.

La combinación de armaduras de distintos anchos permite cumplir diversos objetivos a esta fábrica armada (Fig. 11).

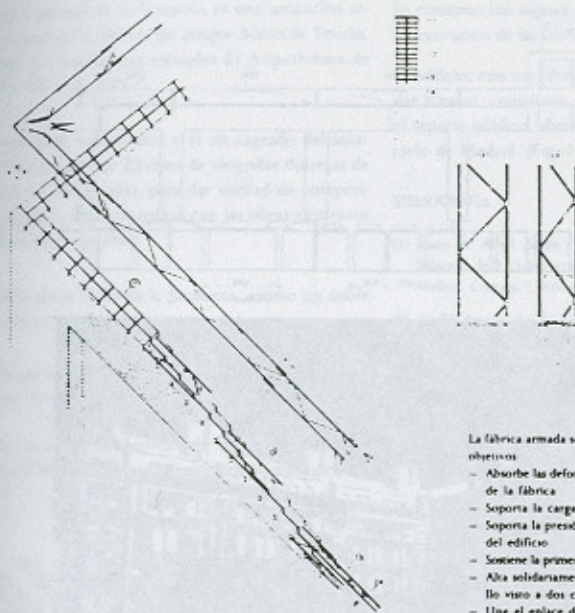
El dintel tiene 3 m de luz, 72 cm de canto y 24 cm de espesor. Sus proporciones afinan el discurso técnico-formal de la fábrica armada, como indican las coincidencias del cálculo.

El cálculo requiere sólo dos armaduras Murior localizadas en los primeros tendeles para soportarse. Además, esta cuantía de armado coincide, dadas las proporciones del dintel, con el armado mínimo del 0,05% de la sección, que tiene que tener para considerarse fábrica armada.

Por razones constructivas, se han empleado más armaduras que las requeridas en la cuantía de armado mínimo, distribuidas en hiladas superiores, para atar las dos hojas a soga del muro doblado, visto a dos frentes.

Analicemos el edificio desde la óptica de la fábrica armada (Fig. 12):

- Con las consideraciones expuestas en "ACW", se puede observar el edificio de la Remonta, enfocándolo como si se fuera a construir el cerramiento de hoja exterior autoportante de fábrica armada



- La fábrica armada según el dibujo, cumple los siguientes objetivos:
- Absorbe las deformaciones de dilatación o contracción de la fábrica
 - Soporta la carga del dintel
 - Soporta la presión o succión del viento sobre las alas del edificio
 - Soporta la primera hilada de ladrillos macizos del dintel
 - Atormenta solidariamente las dos hojas de fábrica de ladrillo visto a dos caras
 - Une el enlace de esquina en ángulo $< 90^\circ$

Fig. 11 - Alas del Edificio de viviendas de la "Plaza de la Remonta".



Fig. 12 - Alas punto al torreón cilíndrico de la Plaza de la Remonta.

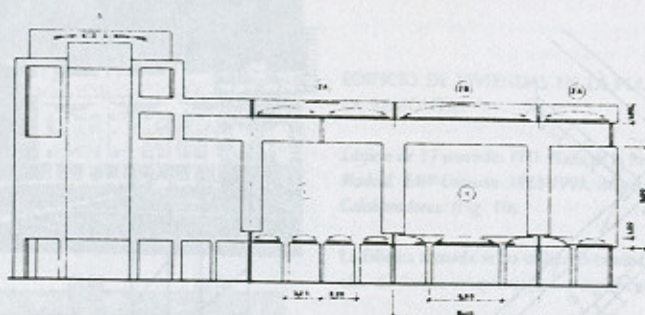


Fig. 13.—Análisis de las posibilidades de la fábrica armada considerando el cerramiento del edificio de la Plaza de la Remonta.

• Cogiendo el esquema del alzado (Fig. 13):

- 1º) Se podría plantear un cerramiento "ACW" de tres plantas de altura, arrancando sobre el soportal, con apoyos en los pilares distanciados a 3,25 m o bien a 6,50 m. En ambos casos, para salvar la luz sería suficiente armar las cuatro primeras hiladas del peto inferior, de 1,2 m de altura.
- 2º A) Se podría plantear perfectamente en el peto de cornisa, de 1,6 m de canto, un dintel corrido de fábrica armada con apoyos cada 6,5 m, armando las primeras hiladas.
- 2º B) También cabría la posibilidad de ir a una gran luz de 13,0 m, caso de aceptar la fisuración. Cosa no aconsejable en este caso al tratarse de

brica vista y al exterior, aunque pudiera hacerse con armaduras inoxidables. El Manual Murfor español, plantea poder aceptar la de fisuración en dinteles (2).

Igualmente, considerando la zona del torreón circular:

- 3º) Cabría la posibilidad de solucionar el dintel curvo con fábrica armada, utilizando armaduras tridimensionales Murfor RE. Esta armadura, permite armar bidireccionalmente con anillos superpuestos, que son capaces de soportar torsiones debido a sus cercos (3).

Para ello sería obligado disponer de un ladrillo que tuviera perforaciones verticales suficientemente amplias, y una buena dosis de paciencia.

La Plaza peatonal de la Remonta es una actuación arquitectónica nueva, dentro del antiguo barrio de Tetuán, conocido por sus buenos ejemplos de Arquitectura de Ladrillos del siglo XIX.

La complejidad volumétrica y el ziz-zageado del solar han obligado a definir 23 tipos de viviendas distintas de entre las 57 construidas, para dar unidad de composición a la plaza, en continuidad con las obras existentes y resolver el programa.

El edificio de la Plaza de la Remonta, asume un doble compromiso:

- corresponder con la historia del barrio, con sus fábricas de ladrillo a tizón y sus huecos verticales;
- hacer la actuación acorde con la modernidad, con fábricas de ladrillo a soga de amplios huecos horizontales.

Su construcción supone una apuesta por el futuro, con la renovación de las fábricas mediante la fábrica armada.

El edificio, con sus fábricas curvas y onduladas de bandas a color, constituye un telón urbano que envuelve el espacio público, abriéndose en un ventanal sobre el cielo de Madrid. (Fig. 14).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Josep M.ª Adell. Razón y Ser de la Fábrica Armada. Informes de la Construcción nº 421. Instituto Eduardo Torroja Madrid. Consejo S. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (2) Adell/Lahuerta. La fábrica armada. Manual Murfor de Bekaert. Bekaert Ibérica, S. A. Barcelona 1992.
- (3) Luiz Oliveira. La armadura tridimensional para la fábrica armada. Informes de la Construcción nº 421. Instituto Eduardo Torroja Madrid. Consejo S. Invest. Científ. Septiembre-octubre 1992.
- (4) Josep M.ª Adell. The Architectural Potential of Bedjoint Reinforced Masonry. Proceedings of the 3rd International Masonry Conference. London 26 - 28 octubre 1992.

(*)

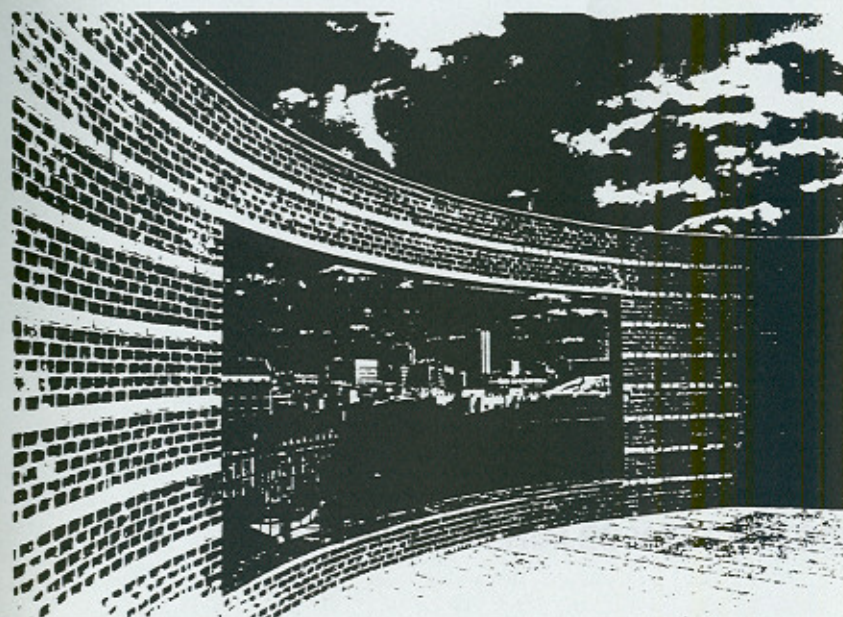


Fig. 14.—El cielo de Madrid enmarcado en fábrica curva de ladrillos a color. Vista desde la terraza de la Plaza de la Remonta.

(*) Ponencia presentada en Londres en el marco del Proyecto de Investigación CICYT PB 87/0805. Aplicaciones Arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados.