

LA FABRICA ARMADA Y LA FACHADA CONTEMPORANEA

por J. M^a Adell, Dr. Arquitecto

Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid
Dpto. Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM
Miembro del Comité AEN/CTN-140/SC-6, Estructuras de Fábrica
Director de "AIA"- Arquitectura e Ingeniería Aplicada.

CONTENIDO

1.- LOS COMPONENTES DE LA FABRICA ARMADA

1.1. Las piezas

*Ladrillos: proporción y dimensión.
Bloques de cerámica aligerada.
Otros materiales de fábrica.*

1.2. El mortero

*Mortero bastardo.
Mortero de cemento.
Cemento cola.*

1.3. La fábrica tradicional

1.4. Las armaduras para la fábrica: tipos y cualidades

*Armaduras longitudinales: barras o
redondos.
Armaduras superficiales o de tendel
Armaduras espaciales.*

1.5. Las protecciones frente a la corrosión

1.6. Aclaración conceptual y semántica

1.7. La fábrica armada

1.8. Razón y ser de la fábrica armada

2.- LA FABRICA ARMADA, NUEVO MATERIAL COMPUESTO

2.1. Componentes para crear el nuevo material compuesto

*Tipos de cercha y protecciones.
Adecuación entre cercha, piezas y
materiales.
La creación del nuevo material
compuesto.*

2.2. Nuevas cualidades de la fábrica armada.

2.3. Aplicaciones de la fábrica armada

2.4. La fábrica, homogéneamente armada.

2.5. El control de la fisuración:

*Tipologías constructivas de muros y
cuantías de armado mínimas:
-Cerramientos.
-Muros de carga.*

2.6. Economía y seguridad en la albañilería.

Estudio comparativo de costes

2.7. La construcción sismorresistente

2.8. La normativa y la fábrica armada

2.9. Manual Murfor:

La fábrica armada
Guía práctica Murfor:
Armaduras para albañilería

2.10. Investigación con fábrica armada y cerámica

3.- LA FACHADA CONTEMPORANEA CON LA FABRICA ARMADA

3.1. El cavity wall y su controversia

3.2. La fachada contemporánea: Arquitectura sin fisuras con la fábrica armada.

*Los cerramientos "ACW" y el "DCW".
diferencias.
Ventajas del "ACW" y del "DCW"
Muro de carga homogéneo*

4.-LA ARQUITECTURA DE LA PLAZA DE LA REMONTA:

LA LECCION DEL PASADO Y LA
INNOVACION DE LA TECNICA

LA FABRICA ARMADA Y LA FACHADA CONTEMPORANEA

INTRODUCCION

Al colocar armaduras de tendel tipo "cercha", regularmente repartidas en la albañilería por niveles, a modo de verdugadas (Fig. 0.), la obra de fábrica se convierte en un "muro fuerte" [1.], adquiriendo la ductilidad del acero y evitando la rigidez de la fábrica tradicional. Se hace así posible la construcción de una arquitectura sin fisuras.

Este hecho, al mismo tiempo, permite ampliar notablemente las nuevas posibilidades de la obra de fábrica, desde los puntos de vista técnico y formal.

En la mayoría de los casos, todo ello se obtiene con el mínimo armado requerido para controlar la fisuración, lo que supone que se incremente la calidad de la edificación, a la vez que se obtiene una mayor economía en la construcción.

La fachada contemporánea aprovecha las ventajas de la fábrica armada, en sus versiones de "ACW" (Autosupporting Cavity Wall) y "DCW" (Duplex Cavity Wall), ofreciendo las soluciones de cerramientos o de muros de carga más idóneos a cada clase de edificación, resueltos con los materiales de fábrica más apropiados a cada caso, en función de las exigencias requeridas, tanto si se trata de muros multicapa u homogéneos de una hoja.

1.- LOS COMPONENTES DE LA FABRICA ARMADA

1.1. Las Piezas

Ladrillos: proporción, dimensión, colocación, fabricación

Los ladrillos son los materiales de fábrica más tradicionales. Sus tamaños y proporciones han ido variando con el tiempo y las regiones geográficas, pero en su conjunto han evolucionado sensiblemente poco a través de la historia, si nos atenemos a sus características formales, dependientes de la articulación "a mano" por el albañil en su puesta en obra, de manera que su ancho (y peso) viene condicionado por la necesaria aprehensión con los dedos de una sola mano. Ello ha llevado a diseñar la pieza con la limitación de un ancho máximo, que por motivos de modulación es la mitad del largo.

Estas razones devenidas de la técnica de ejecución de la albañilería, que todavía se mantienen, no impiden sin embargo, poder diferenciar tres tamaños básicos -entre otros muchos- que conviene destacar, referidos a sus dimensiones modulares de 20, 25 ó 30 cm. de longitud, con sus correspondientes de 10, 12,5 y 15 cm. de ancho.

Ello es importante por cuanto "los formatos" mencionados están ligados a determinadas zonas geográficas y la edificación en general desde hace muchos años, y más en concreto, la albañilería, se basa en estas medidas tradicionales en cada país. Así tenemos el llamado formato "Catalán" (DIN) de 30x15 que rige en el Noreste de la península, mientras que el llamado formato "Castellano" 25x12,5 (Métrico) se encuentra a lo largo del resto del país. Por lo mismo conviene conocer que en varios países de centroeuropa es el formato flamenco o anglosajón de 20x10 el que se utiliza habitualmente.

Este hecho, que desde muy antiguo ha condicionado los anchos de las fábricas al organizarse por múltiplos de las piezas locales, se hace hoy día mucho más crítico, cuando habitualmente por razones de economía de material y especialmente de mano de obra, el aparejo utilizado es "a sogá" (o "común", como lo nombran en los países sin tradición como Estados Unidos y Canadá), ya que las cualidades resistentes y estructurales de una fábrica de 1/2 pié de 10, ó 15 cm. de ancho no son las más adecuadas, particularmente en lo que se refiere a esbelteces de muros y sus posibles apoyos en los cantos de forjado.

Bajo estas premisas conviene dejar bien claro, que algunas de las diferencias constructivas que se aprecian entre los diversos países europeos tienen su razón de ser en las posibilidades constructivas de sus piezas, y por lo mismo, que en ocasiones trasladar las formas de

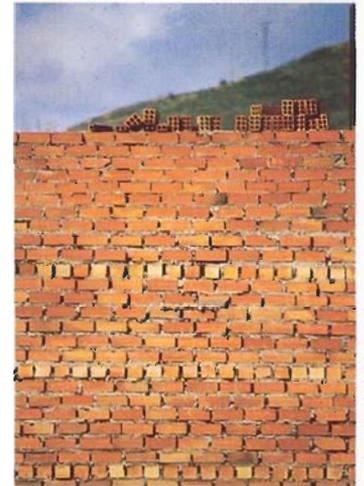


Fig.0.
Muro doblado de fábrica de ladrillo hueco doble "a sogá" para revestir. Verdugadas de ladrillo tosco "a tizón" cada siete hiladas, atando ambas hojas.

[1.] Adell, J.M./ Lahuerta, J.A.
Manual Murfór,
Bekaert Ibérica S.A. Travesera de Gracia
30, 08021 Barcelona

organizar las fábricas de unos lugares a otros, puede salirse de la lógica constructiva que los materiales posibilitan en los distintos lugares, en razón de su métrica.

Como es sabido, la altura o grueso de los ladrillos suele oscilar entre 1/6 y 1/4 de su longitud, descontando los gruesos de junta.

Desde el siglo XIX la colocación de las piezas en las fábricas de ladrillo se hace con el mínimo mortero posible, diseñando las piezas de acuerdo con el grueso de las juntas, que son suficientemente delgadas -o gruesas- para que la falta de exactitud debida a la cocción cerámica, no afecte al aparejo.

Respecto a la fabricación de los ladrillos, de barro cocido, conviene decir que también aquí los tamaños locales influyen decisivamente en las características de las piezas del lugar, por cuanto los procesos de prensado o extrusionado, secado, cocción, empaquetado, etcétera, dependen claramente del tipo y tamaño de las piezas. Por ello, nuevamente, debemos tener en cuenta el factor dimensional local a la hora de comparar las cualidades de unas piezas con otras.

Bloques de cerámica aligerada

La evolución de las técnicas actuales junto con el trasvase económico y cultural existente entre los diversos países europeos, ha permitido desarrollar los Bloques de Cerámica Aligerada (BCA), con ligeras diferencias en las patentes propias en cada lugar, como la Termoarcilla en nuestro país [2.] (Fig.1.). Estos nuevos materiales se obtienen por la mezcla de arcilla y poliestireno expandido, que se consume durante la cocción, dejando poros cerrados capaces de aislar y disminuir el peso de las piezas.

Las ventajas que se derivan de ello, son el incremento del aislamiento térmico, y su mayor ligereza, lo que facilita la manipulación de grandes formatos, sin perderse las buenas cualidades resistentes de la cerámica. Con los bloques se puede diseñar muros de carga homogéneos de una sola hoja.

Por otra parte, y para ser competitivos en la puesta en obra, se han estandarizado los formatos en la mayoría de los países, con un frente de 30 cm. de largo y 19 de alto, variándose el ancho entre 14, 19, 24 y 29 cm. lo que permite barrer todo el campo de aplicaciones resistentes y aislantes, en un muro de una sola hoja.

Se incrementa la eficiencia de puesta en obra, machiembreado las llagas, lo que sólo obliga a colocar mortero en los tendeles, aplicándose en dos bandas para romper el puente térmico.

Las comparaciones que puedan establecerse entre las diversas patentes de BCA, por lo que a su dimensión se refiere, son aquí mucho más objetivas que en el caso de los ladrillos. Sin embargo nos encontramos ahora con que el diseño específico de las celdas de cada patente tienen efectos diversos, lo que obliga a ensayar en cada lugar las combinaciones más usuales con fábrica armada.

Otros materiales de fábrica

No abundaremos en este texto sobre las cualidades de otros materiales de fábrica, como: otro tipo de materiales cerámicos, bloques de hormigón hueco, bloques de arcilla expandida, bloque de hormigón celular curados en autoclave, etc..., cada uno de ellos tienen características propias, idóneas para determinados campos de aplicación, donde son competitivos, especialmente con la colaboración de la fábrica armada.

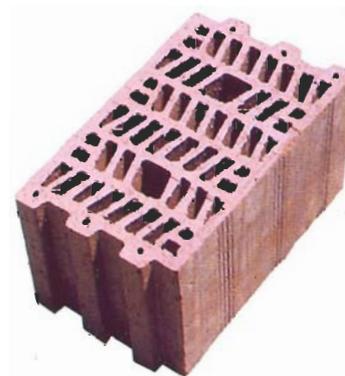


Fig.1.
Bloque cerámico aligerado Termoarcilla.
de 30x24x19cm.

1.2. El Mortero

Mortero bastardo

Tradicionalmente el mortero o la "argamasa" se ha elaborado con diversos componentes de mezclas de puzolanas y cales. Los morteros bastardos utilizados en juntas gruesas (2 cm. o más) dan una cierta plasticidad a las fábricas de albañilería, permitiendo asumir por un lado las faltas de exactitud dimensional de los ladrillos rústicos, y por otro las deformaciones de la fábrica. Contribuyendo a evitar su agrietamiento, al asumir deformaciones plásticas.

Hoy en día se hacen mezclas para obtener el colorido blanquecino que daba la cal a la argamasa, lo que actualmente suele obtenerse con diversas proporciones de cementos blanco y gris, o bien con aditivos colorantes.

Mortero de cemento

Los morteros actuales suelen ser de cemento, variando su proporción de arena en función de las resistencias exigidas a la fábrica, o del tipo de junta, finura del árido, etc.

Conviene recordar que para cada tipo de fábrica hay un mortero adecuado, con una determinada composición y resistencia, muchas veces en función de la resistencia de las piezas.

Teniendo en cuenta las consideraciones previas, el tipo de mortero para la fábrica armada debe ser un M-80, por cuanto se requiere una resistencia mínima para conseguir la adherencia entre el mortero y la armadura y transmitir los esfuerzos apropiadamente, especialmente en los solapes.

Los gruesos de las juntas se estipulan hoy día entre 0,8 y 1,5 cm. de grueso, aplicándose de 1,0 cm. como término medio. De nuevo hay que tener en cuenta que dicho grueso, está relacionado también con el tamaño de la pieza utilizada y su dimensión modular.

En términos generales, afinar hacia menos el grueso de junta va en beneficio del incremento de la resistencia de la fábrica y sus características propias, disminuyendo además los puentes térmicos y las eflorescencias que el mortero favorece.

Se aconseja utilizar morteros preparados, para garantizar su resistencia y características plásticas sin añadir más agua de la debida.

Cemento cola

Esta variante de morteros de cemento u otros productos químicos, tiene la particularidad de requerir muy poco grueso, pudiéndose aplicar a juntas de sólo 2 ó 3 mm. Para ello se requiere que las piezas utilizadas sean de extremada planeidad y exactas dimensiones, lo que para la cerámica sólo sería aplicable a ladrillos prensados.

1.3. La fábrica tradicional

Por motivo de la acción de la gravedad, la albañilería adquiriría estabilidad con el simple hecho de apilar adecuadamente las piezas. Es obvio, sin embargo, que acciones horizontales como el simple viento, son capaces de impedirlo si no fuera porque el agarre del mortero y la trabazón obtenida con el aparejado de las piezas, contribuyen a crear una unidad de fábrica estable.

Para generar la trabazón, las piezas se superponen cuidando la discontinuidad vertical de las llagas, lo que viene dado de una manera regular por el aparejo escogido. Todos los tendeles de las fábricas están a nivel por razones tectónicas, constructivas y estructurales.

La obra de fábrica tradicional tiene resistencia a compresión sobrada respecto de la capacidad de los materiales que la componen. Su amplio grueso permite su estabilidad sin lle-

gar a agotar su capacidad resistente. Su comportamiento es plástico si se acepta su agrietamiento, lo que es habitual en la arquitectura tradicional, sin que ello suela suponer un inminente peligro de ruina, sino una simple readaptación, en razón de la imposibilidad que tienen sus componentes de soportar tracciones.

En este siglo el grueso de la albañilería ha llegado a su mínima dimensión, referida al ancho de la pieza existente en cada lugar y en cada país.

Por otra parte, es común combinar la cerámica con estructuras de acero u hormigón armado, que dada su capacidad a la flexión, en ocasiones fuerzan al agrietamiento de la albañilería, por ser rígida.

Además las exigencias de calidad actuales no permiten aceptar su agrietamiento, ni siquiera una fisuración que no llegue a ser visible.

Los problemas se incrementan cuando a lo anterior se suman situaciones de esbeltez, momentos fuera del plano del muro, etc., que enseguida se dan debido a la delgadez de la fábrica.

Todo ello lleva a que aún habiendo mejorado sensiblemente los componentes de la albañilería, su patología ha aumentado (Fig.2.).

1.4. Las armaduras para la fábrica: tipos y cualidades

En función de la elaboración prefabricada de las armaduras cabe la siguiente clasificación:

Armaduras longitudinales: barras o redondos

Las barras más utilizadas en la construcción oscilan entre los diámetros 6 y 20 mm. Por su forma lineal ofrecen cierta dificultad al albañil para colocarlas en una ubicación precisa sobre el tendel, ya que éste tiene que restregar las piezas sobre el mortero, descolocando involuntariamente los redondos. Por otra parte, su diámetro dificulta hacer juntas de grueso normal.

Se aconseja su uso en pilastras huecas o dentro de piezas con amplias perforaciones.

No se utilizan en tendeles para solicitaciones horizontales, por la imposibilidad de asegurar que en la práctica se cumpla el cálculo realizado.

Las organizaciones hechas por un ferrallista con barras, tampoco suelen adaptarse al grueso del tendel.

Armaduras superficiales o de tendel

Dado lo delgado que es el tendel, es preciso utilizar alambres o mallas para que tengan el suficiente recubrimiento de mortero. Ello lleva a la necesidad de prefabricar armaduras planas o superficiales para posibilitar su colocación (Fig.3.) (Fig.4.)

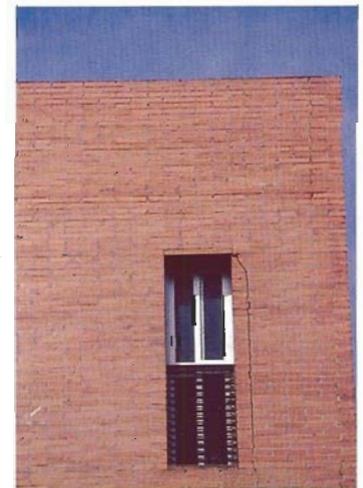
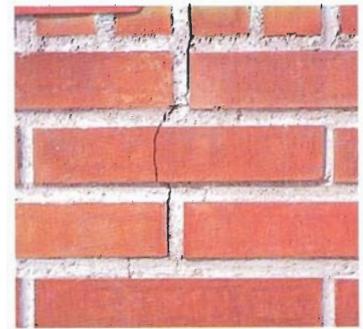
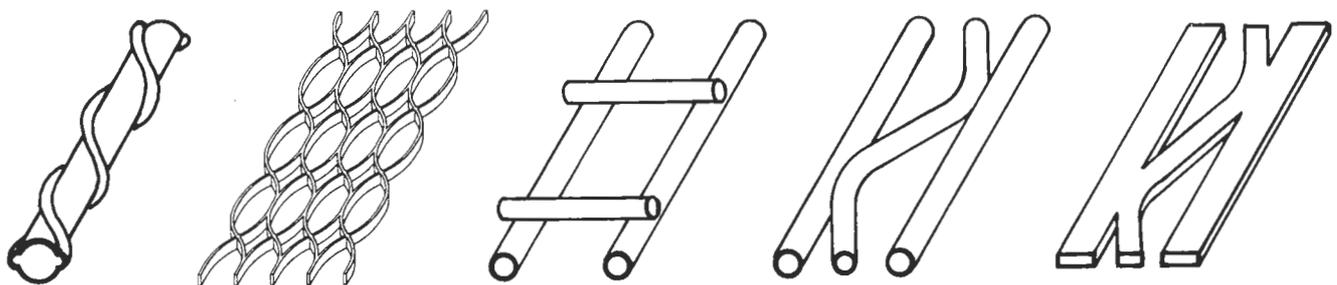
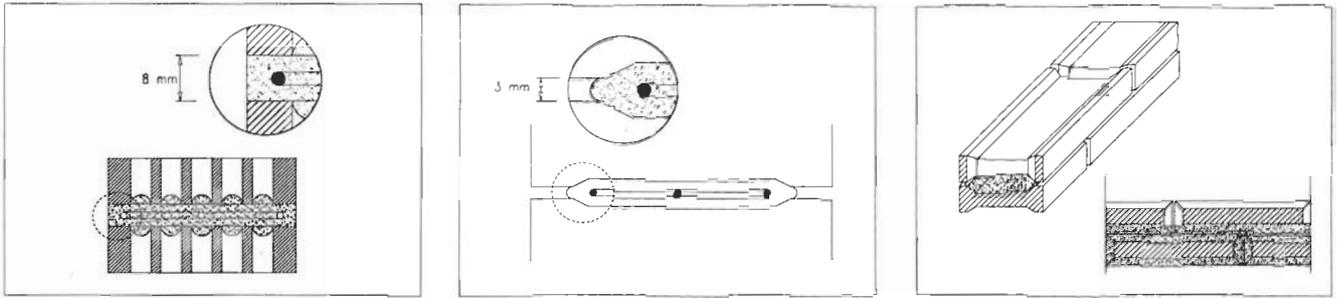


Fig.2.
2a). Inicio de una grieta en el antepecho de un hueco por diferencias de tensión.
2b). Grietas en la fábrica por deformaciones estructurales en un cerramiento rígido.

Fig.3.
Diversos tipos de armaduras:
Longitudinal: 1. Barra,
Superficiales: 2. Malla estirada,
3. Rectangular tipo escalera.
4. Triangular tipo cercha.
4a. Alambre,
4b. Pletina.





Tipos y cualidades:

Triangular: tipo cercha [1.]

Celosía realizada con acero AEH-500T, constituida por dos alambres paralelos, separados y unidos entre sí por otro en diagonal continuo soldado en zig-zag en su mismo plano. Separaciones entre alambres 30,50,100,150,200,250,280 mm.

Para juntas de mortero normales:

Alambres longitudinales de 4 ó 5 mm. de diámetro.

Su conformación triangulada la hace indeformable frente acciones horizontales.

– Adecuada para acciones verticales, horizontales, longitudinales o transversales a la fábrica, cualquiera que sea el ancho del tendel (Fig.5.)

Para juntas de cemento cola:

Pletinas longitudinales de 2 mm. grueso x 6 mm. de ancho

Rectangular: tipo escalera [3.]

Celosía obtenida soldando los alambres transversales sobre los longitudinales.

Su conformación rectangular es deformable frente a acciones horizontales (Fig.6.)

– Adecuada para acciones verticales y longitudinales.

Malla estirada [3.]

Chapa calada y estirada conformando una malla.

Sus características son apropiadas para repartir cargas sobre el ancho del tendel.

– Adecuada para acciones verticales.

Otras mallas plásticas

No son comparables por sus características técnicas con las armaduras de tendel. Se aplican para dar continuidad en revocos de mortero o tendidos de yeso.

– No son adecuadas para los tendeles.

Armaduras espaciales

Las armaduras espaciales o tridimensionales, están diseñadas para aplicar en aquellas fábricas en que las piezas tengan amplios huecos verticales.

Actualmente sólo existe una patente: [4.] [25.] (Fig.7.)

Está constituida por 2 alambres longitudinales paralelos, separados y soldados entre sí mediante anillos verticales. Estos anillos están distanciados regularmente para casar dentro de los huecos verticales de las piezas de la fábrica, "armando" y "reforzando" al mismo tiempo.

Las armadura espaciales, además de soportar las acciones de las armaduras tipo "cercha", soportan momentos fuera del plano de la fábrica.

Son adecuadas para armar frente a grandes solicitaciones, especialmente para empujes de terreno y para efectos de torsión.

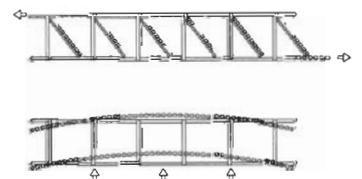
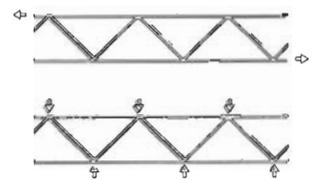


Fig.4. Junta de mortero normal (8mm.) con armadura de tendel tipo "cercha" centrada diámetro 4mm.

Fig.5. Armadura superficial triangular-tipo cercha. Indeformabilidad ante el plano del tendel.

Fig.6. Armadura superficial rectangular tipo escalera. Deformable ante solicitaciones horizontales en el plano del tendel.

[3.] Bricforce y Expamet. Sin presencia en el mercado español.

[4.] Murfor RE. Bekaert Ibérica, S.A. Travesera de Gracia, 30. 08021 Barcelona.

1.5. Las Protecciones frente a la corrosión

Incluso el más inexperto sabe que el acero se corroe y que el ambiente húmedo favorece dicha corrosión. También es notorio que la duración de un elemento de acero frente a la corrosión dependerá del grueso de la sección de dicho elemento.

Puesto que en albañilería los tendeles son muy finos y las armaduras mucho más, lo antedicho tienen que alertar enormemente sobre la necesidad de evitar la corrosión con algún tratamiento preventivo, si no se quiere arruinar la fábrica en poco tiempo.

En el hormigón armado se utilizan barras de grueso mucho mayor que en albañilería, y además están recubiertas de hormigón rico en cemento que las protege de la corrosión bajo 2 ó 3 cm. de recubrimiento.

En la fábrica, por el contrario, el mortero tiene mucha menos proporción de cemento y grueso de recubrimiento (Fig.8.), y las armaduras se sitúan junto a materiales habitualmente absorbentes de la humedad. La realidad favorece en gran manera la corrosión si no se toman medidas preventivas. "Sin protección, hay corrosión" (Fig.9.)

Según el EC-6, se recomiendan las siguientes protecciones [5.]:

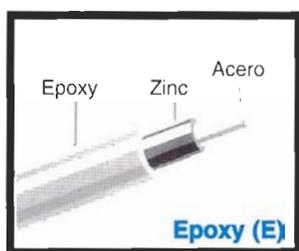
- Acero sin tratamiento. En interiores sin humedad.
- Galvanizado de zinc. En exteriores.
- Capa Epoxi sobre el zinc. Zonas en que haya humedad.
- Armadura inoxidable. Medio muy agresivo (industrial).

1.6. Aclaración semántica y conceptual

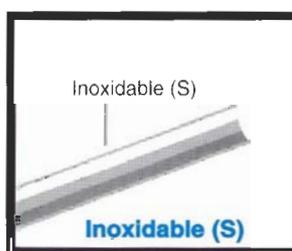
la denominación *fábrica armada* surge de establecer un simple paralelismo semántico con la conocida expresión *hormigón armado*.



Galvanizado (Z)
galvanizado para obras de albañilería corrientes (.../Z)



Epoxy (E)
galvanizado + capa de resina Epoxy para obras en que haya humedad (.../E)



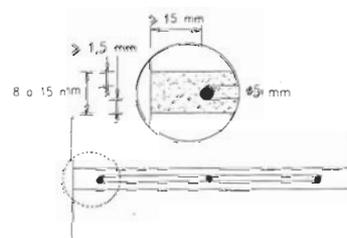
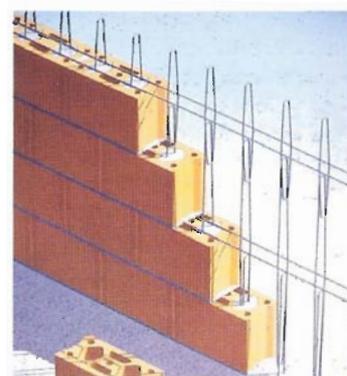
Inoxidable (S)
acero inoxidable para obras que estén en un medio muy agresivo (.../S)



Fig.7. Armadura espacial o tridimensional, Murior-RE conformada por dos alambres longitudinales soldados por anillos verticales distanciados regularmente, función de los huecos de las piezas cerámicas.

Fig.8. Grueso variable de junta de mortero entre 8 y 15 mm. con armadura superficial tipo cercha de 5 mm. de diámetro, situada centrada en el tendel, con los recubrimientos mínimos de 15 mm. lateralmente y 1.5 mm. arriba y abajo de la armadura (según EC-6).

Fig.9. a). "Sin Protección Hay Corrosión": Jardinería de hormigón armado. Acero corroído y rotura del hormigón
b). Diversos tipos de protecciones del acero: recubrimiento de zinc, zinc + epoxi y acero inoxidable.



Es evidente, no obstante que las notables diferencias existentes entre las técnicas de fabricación de ambos materiales llevan a la obtención de dos productos muy distintos, que convendría diferenciarlos terminológicamente para no incurrir de forma involuntaria en un error conceptual, a partir de la inmediata interpretación del significado de las palabras. Veamos :

–En el hormigón, el armado puede organizarse en cualquier dirección del espacio, sin más que preparar la ferralla previamente al vertido del hormigón líquido dentro del encofrado al que se le ha dado la forma deseada. Ello da lugar a un material homogéneo respecto a su capacidad a tracción, y de ahí su denominación genérica de *armado*.

–En la albañilería sin embargo, colocar el armado supone adaptarse a la técnica de elevación de la fábrica. Si se contemplan los tendeles como los únicos planos continuos capaces de permitir armar la fábrica de una forma genérica, ello da lugar a un material relativamente homogéneo si sólo se contempla su capacidad a tracción en sentido horizontal.

Por *fábrica armada* se entiende, en este artículo, aquella que está regularmente armada por niveles, mediante armaduras de tendel prefabricadas, dotando a la albañilería de ductilidad en la dirección del muro. Conviene aclarar que dicha expresión no condiciona al tipo de material de fábrica utilizado, y que la capacidad a tracción horizontal se transmite a través del mortero.

– Para asegurar que una fábrica cualquiera sea una *fábrica armada*, ofreciendo la ductilidad que impida la fisuración de la albañilería, la normativa (EC-6) establece que haya un armado mínimo regularmente repartido, (al igual que se hace entre el hormigón en masa y el hormigón armado), con una separación vertical máxima menor a 60 cm., y una cuantía mínima de acero entre el 0,05 % y el 0,03 % de la sección de la fábrica.

Por antonomasia, la expresión *La fábrica armada*, se refiere a aquella fábrica que está homogéneamente armada por niveles con armaduras prefabricadas de tendel "tipo cercha". Esto es así, ya que las cerchas son las únicas celosías capaces de aprovechar las dos direcciones tensionales que ofrece el tendel (longitudinal y transversal), gracias a su indeformable triangulación [6]. Por tanto, su utilización implica la máxima amplitud posible al carácter genérico de la expresión armada, desde el punto de vista tensional y de las posibilidades de ejecución de cualquier tipo de muro, ya que todos tienen tendeles horizontales.

En *La fábrica armada*, donde se utilizan armaduras de tendel tipo cercha, equivale a armar con Murfor entre cada 40 ó 50 cm. de altura, según sea el ancho de la fábrica y la sección de la armadura empleada (diámetro de 4 ó 5 mm.) (Fig.10.).

La fábrica de bloque de hormigón armado (sinónimo del hormigón armado aplicado a los bloques de albañilería), obtiene capacidad a tracción como consecuencia de los refuerzos locales organizados con ferralla embutida dentro de las piezas zuncho horizontales, o en los amplios huecos verticales de las piezas de hormigón que conforman pilastras. El armado queda embebido dentro del hormigón vertido que rellena dichos vacíos. Realmente este tipo de fábrica constituye un material mucho más heterogéneo que *La fábrica armada*, tratándose realmente de un entramado de zunchos y pilastras de hormigón armado, enmarcando paños de fábrica de bloque, que quedan sin armar.

La fábrica armada, con la homogeneidad que le confiere el armado regular con cerchas en los tendeles, se diferencia claramente por sus cualidades, de la fábrica de bloque de hormigón armado.

La expresión *fábrica reforzada*, por el contrario, habría que aplicarla a cualquier otro tipo de fábrica que tuviera un armado que incremente su capacidad a tracción de forma localizada, como son los muros apilastrados o con costillas, que permiten envolver barras de



Fig.10.
Pallets acopiados de cerchas anchas (Murfor RND.5/E-280), y estrechas (Murfor RND.4/E-50).

[5.] EC-6. Design of Masonry Structures. Parte 1.1: General rules for buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry.

armado vertical, o bien los construidos con piezas huecas alojando redondos a distancias establecidas. La fábrica de bloque de hormigón, por su organización constructiva y tensional, se acerca más al concepto de fábrica reforzada.

También pueden obtenerse combinaciones de fábrica armada y reforzada, como por ejemplo en muros capuchinos rellenos, donde se unan y armen las dos hojas de fábrica mediante armaduras de tendel, y se dispongan verticalmente barras en el vacío central, rellenándose posteriormente de hormigón.

1.7. La fábrica armada

Organización constructiva

Asumiendo que toda fábrica tiene superficies horizontales continuas, con independencia del tipo de pieza y material que se utilice, es evidente que se tiene un plano donde poder armar (largo y estrecho).

Aprovechando esta oportunidad que brinda la técnica de la albañilería, es posible disponer armaduras en dicho plano.

Como se dijo en el apartado 1.4., son razones técnicas de la albañilería las que obligan a prefabricar las armaduras de tendel con alambres, y estructurarlas para poder garantizarse su forma de trabajo adecuada.

Comportamiento estructural

Si se tiene una fábrica homogéneamente armada por tendeles se obtiene un material compuesto que tiene capacidad a tracción en la dirección de los tendeles. Si además se han utilizado "cerchas" esta capacidad a tracción existirá en las dos direcciones del tendel, dada la continuidad del alambre diagonal central que constituye la triangulación.

En flexión vertical, el canto del material de la fábrica ha de asumir el esfuerzo cortante, mientras que en flexión horizontal, la armadura diagonal contribuye a la absorción de este esfuerzo.

La fábrica homogéneamente armada por tendeles, controla la fisuración en la albañilería, dada la ductilidad que le confiere el acero. No obstante, el nuevo material compuesto es anisótropo y por tanto heterorresistente, comparando las direcciones horizontales y la vertical.

Son evidentes las ventajas que se obtienen cuando la fábrica tiene tracción, sobre todo si nos encontramos con las situaciones actuales, donde se fuerza involuntariamente a la albañilería a traccionarse, cuando la calidad exigida no admite fisuración.

En flexión vertical las posibilidades de armado estarán en función de la resistencia a compresión de la fábrica en la zona comprimida y del valor del cortante que ésta sea capaz de resistir. Así como de la anchura y separación vertical de los tendeles (Fig.11.).

En flexión horizontal, en el caso de la acción del viento la "cercha" se encarga de absorber también el cortante obtenido tanto si hay presión o succión (Fig.12.).

1.8. Razón y ser de la fábrica armada

Como diría Eduardo Torroja "Cada material tiene una personalidad específica y distinta... Antes y por encima de todo cálculo está la idea, moldeadora del material de forma resistente para cumplir su misión" [7.].

La razón y ser de la *fábrica armada*, entendida como "un nuevo material compuesto arquitectónico" se expuso ampliamente en la revista Informes de la Construcción.

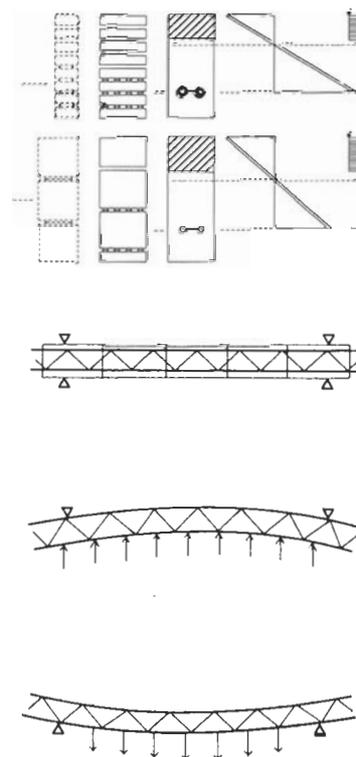


Fig.11. Esquema de flexión vertical aplicable a dos materiales cerámicos distintos. a) fábrica de 1 pie de ladrillo de 24x11.5x5cm. b) fábrica Termoarcilla de 30x19x29cm. Obsérvese que el primer tendel en el bloque Termoarcilla debe cortarse horizontalmente para aumentar el brazo efectivo.

Fig.12. Fábrica cerámica sometida a flexión horizontal. Dada la simetría formal de la cercha soporta tanto las presiones como las succiones del viento.

[6.] Adell, J.M. Sobre la denominación de: "La fábrica armada". II Congreso Hispanoamericano de Terminología de la Edificación. Valladolid, 1993 (España).

[7.] Torroja, E. Razón y ser de los tipos estructurales. Textos universitarios. CSIC. Madrid, 1957.

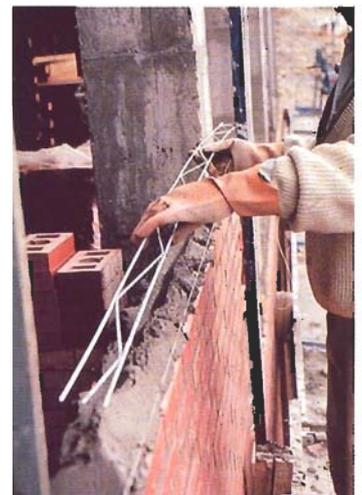
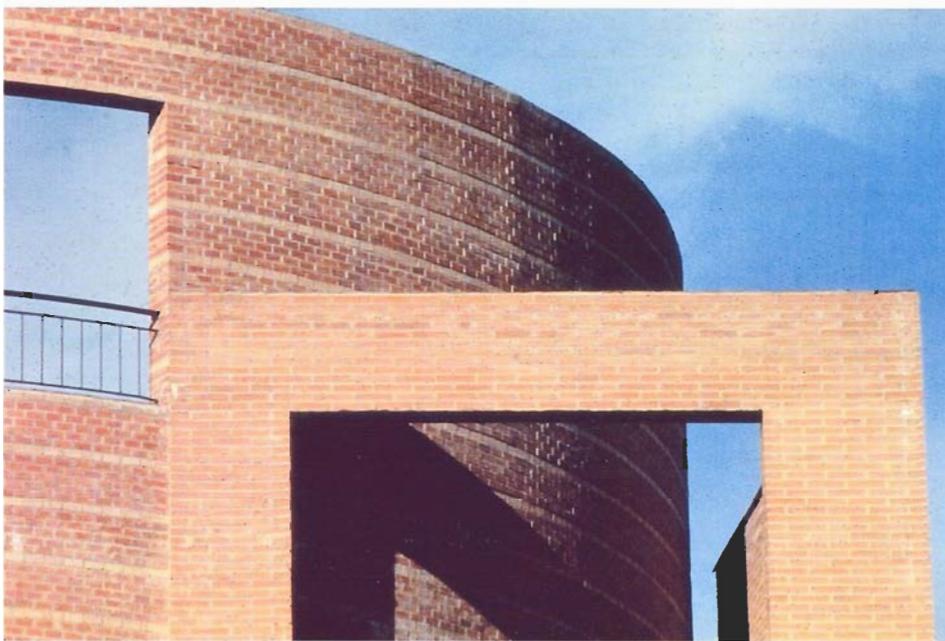


Fig.13.
El arco existe aunque no se evidencie formalmente: "La fábrica tiene vida". Arco atirantado ciego. (J.M. Adell, viviendas de la plaza de la Remonta).



El artículo argumenta cómo la creación de la *fábrica armada* como "nuevo material compuesto", se apoya en una "razón arquitectónica", tiene un "ser constructivo" y es un "tipo estructural" [8.] (Fig.13.)

A nivel nacional, en la ponencia sobre "la fábrica armada. Un nuevo material arquitectónico", se expuso por primera vez, el nuevo entendimiento y las posibilidades de la fábrica armada [9.] (Madrid 12/91).

A escala internacional, la ponencia "The Architectural Potential of Bed Joint Reinforced Masonry" dio a conocer las nuevas posibilidades de la fábrica armada [10.] (Londres 10/92).

2.-LA FABRICA ARMADA, NUEVO MATERIAL COMPUESTO

Para poder entender lo que a continuación se expone (Fig.14 I, II), es necesario hacer una significativa transposición intelectual. Se trata de imaginarse la obra de fábrica en su conjunto, como un todo en sí mismo, en vez de una suma de componentes independientes.

Esto implica contemplar un cambio de escala desde los componentes que componen la fábrica, al compuesto obtenido. El material al que nos referimos es, por tanto, el edificio, el muro, el dintel, etc., en lugar de la pieza, el mortero o la armadura...

[8.] Adell, J.M. Razón y ser de la fábrica armada. *Informes de la Construcción*, nº 421. CSIC. Madrid, Septiembre, 92.

[9.] Adell, J.M. La Fábrica armada: un nuevo material arquitectónico. *1ª Jornada Aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivos*. ETSA Madrid, 13/12/1991.

[10.] Adell, J.M. The Architectural Potential of Bed Joint Reinforced Masonry. *Third International Masonry Conference. Proceedings of the British Masonry Society (Masonry 6)*. London, 26-28/10/1992.

Para crear *La fábrica armada*, simplemente hay que armar homogéneamente por tendeles con "cerchas", una vez escogido el material de albañilería deseado, en función de las cualidades requeridas (estéticas, resistentes, aislantes, etc.).

2.1. Componentes para crear el nuevo material compuesto

Tipos de cerchas

Para elegir la cercha adecuada, primero habrá que decidir qué tipo de protección ante la corrosión se requiere, en función de que la obra de fábrica esté en un ambiente seco, húmedo o agresivo.

También deberá tenerse en cuenta, si se van a utilizar armaduras hechas con alambres o pletinas, según se vayan a hacer juntas de mortero normales o finas.

Por último se escoge el diámetro adecuado a las solicitaciones.

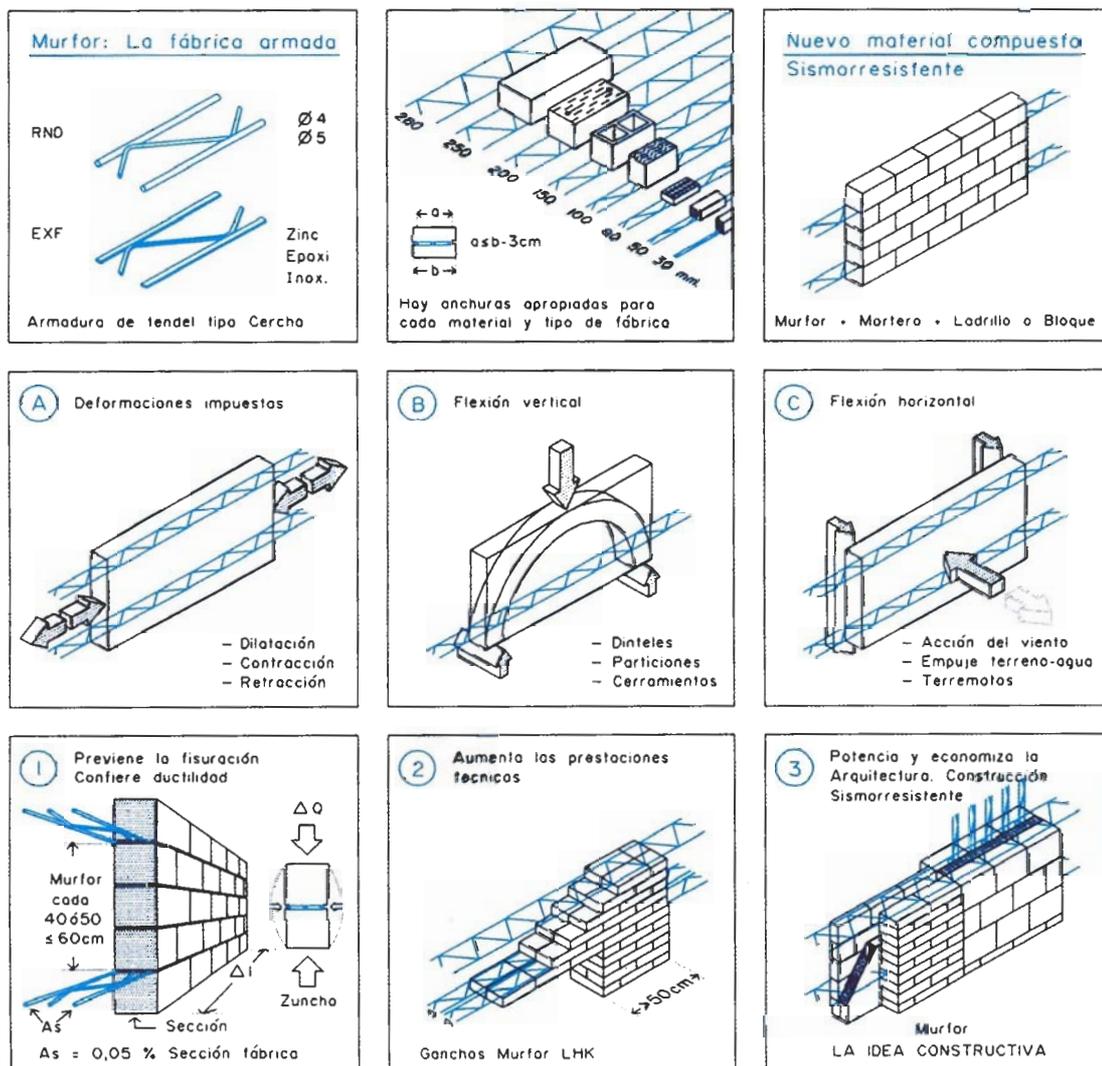
Adecuación entre cerchas y materiales

La armadura apropiada deberá de tener un ancho inferior en 3 ó 4 cm. al grueso del muro, siempre que se trate de una sola hoja aparejada a soga.

Existen anchos de cerchas para cada tipo de material y ancho de fábrica.

Fig.14.1
La fábrica armada = Material compuesto.
Componentes para crear el nuevo material compuesto:
Tipos de cerchas - Adecuación entre cerchas y materiales.
Nuevas cualidades de la fábrica armada:
(A) Deformaciones impuestas - (B) Flexión vertical - (C) Flexión horizontal
Aplicaciones de la fábrica armada:
(1) previene la fisuración: confiere ductilidad - (2) Aumenta las prestaciones técnicas - (3) Potencia y economiza la arquitectura. Construcción sismo-resistente.

Fig.14.11
Ejemplos de puesta en obra de la fábrica armada.
a). Puesta en obra de la cercha en la fábrica de 1/2 pie, una vez colocado el mortero en el tendel.
b). Colocando los ganchos engarzados en la diagonal de la cercha, para colgar los ladrillos macizos de la 1ª hilada del dintel de la fábrica armada. Obsérvense las armaduras algo sobreelevadas.
c). Replanteo de las longitudes de solape de 25 cm., en un muro capuchino sometido a flexión horizontal.



lizar mayor cantidad de armado en determinadas zonas, es fácil de conseguir, sin más que utilizar el ancho apropiado de las armaduras, en función de las necesidades.

Bajo estos criterios, en el manual español, el Profesor J.A. Lahuerta ha desarrollado tablas de cálculo simplificadas para dinteles bajo cargas de forjado. Las tablas referidas a materiales cerámicos, se han publicado en "El muro de ladrillo" de Hispalyt [11.]

Dichas tablas se han hecho utilizando las armaduras de 50 mm. de ancho, pudiendo colocarse varias de ellas paralelas una al lado de otra en la misma hilada, en muros gruesos, incrementándose sustancialmente la capacidad resistente de los dinteles.

Para evitar el posible descuelgue de la primera hilada del tendel, se utilizan ganchos de cuelgue apropiados a la altura de la cada tipo de pieza.

Para garantizar el anclaje de las armaduras, éstas deben prolongarse al menos 50 cm. a ambos extremos del hueco.

Las aplicaciones más frecuentes se dan:

- Frente a asientos diferenciales del terreno bajo muros de carga
- Frente a flexiones de viga/forjado bajo tabiques y cerramientos
- Frente a contracción, retracción o dilatación de paños largos
- Frente a concentración de tensiones, alrededor de huecos
- Frente a concentración de tensiones, bajo cargas puntuales

(3): Potencia y economiza la arquitectura

Todo lo anteriormente expuesto es aplicable a una o a dos hojas de fábrica de forma independiente, en función del grueso y tipo de material que tenga cada una, y de las sollicitaciones a que estuvieran sometidas. De esta forma las dos hojas de un "Cavity Wall", pueden llegar a mantener una independencia estructural total.

Desde el punto de vista constructivo, en muchas ocasiones resulta muy ventajoso hacer solidario el trabajo de ambas hojas, ya que es posible aprovechar la mayor inercia que se obtiene al armarlas triangulando conjuntamente. El resultado es un significativo aumento de las cualidades resistentes del muro capuchino así construido.

Este hecho no impide que el espacio intermedio entre las dos hojas, que no tienen por que estar construidas con el mismo tipo de pieza (aunque sí se aconseja que sean del mismo material a efectos de deformaciones -como por ejemplo ladrillo visto / ladrillo hueco-, pueda dejarse vacío, rellenarse en parte con aislamiento, o macizarse con hormigón armado.

En determinados casos interesa levantar las dos hojas en fases separadas, y con materiales distintos, pudiendo quedar las armaduras horizontales sobresaliendo en espera para el atado de ambas hojas solidariamente, después de haber aplicado el aislamiento (si se requiere) con planchas o proyectado.

Una combinación interesante puede ser un muro doblado de ladrillo visto / bloque Termoarcilla, con apenas 1 cm. de separación entre ambos materiales, que da resultados excelentes respecto la impermeabilidad, la resistencia y el aislamiento térmico, al tiempo que soluciona la cara externa sin tener que revocar.

El campo de aplicaciones se amplía:

- Evitando puentes térmicos, sin perder homogeneidad la fábrica
- Al construir muros dobles/capuchinos, con varios materiales

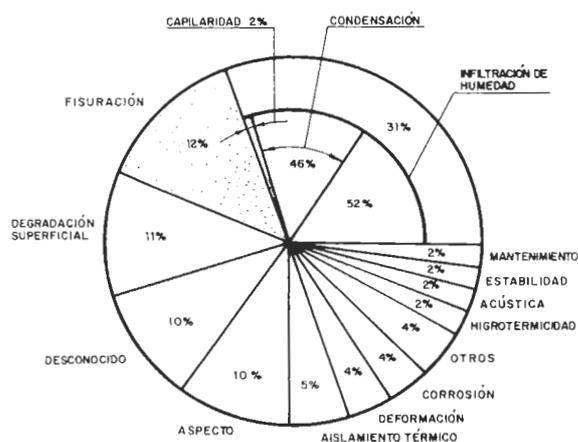


Fig.15.
Diagrama del estudio sobre las causas de deterioro en las obras de fábrica.
C.S.T.C. Belgica 1977-1979.

[11.] Adell, J.M. Los materiales cerámicos y la fábrica armada. El muro de ladrillo.
AAVV. Hispalyt. Madrid, septiembre, 92

[12.] Pfefferman, O. Centre Scientifique et Technique de la Construction
C.S.T.C. Bruselas, Bélgica. Informe 1977-1979.

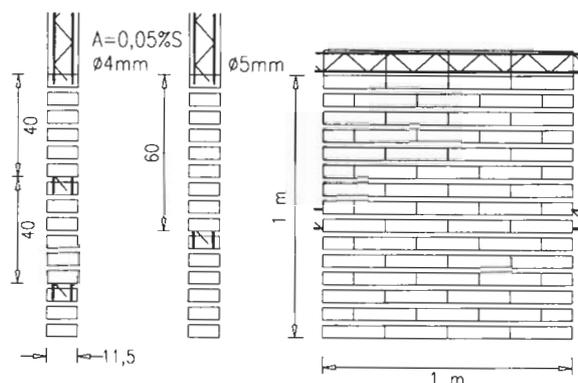
- Al dejar esperas para solidarizar distintas fases de obra
- Al poder construir sin tener que aparejar las piezas
- Al incrementar la libertad técnica y formal del arquitecto
- A la Construcción sismorresistente

[(1)+(2)+(3)]: La idea constructiva

Es evidente que todas estas aplicaciones de la fábrica armada son posibles gracias a la idea constructiva de colocar "cerchas" en los tendeles de la albañilería.

Sólo falta acostumbrarse a utilizar los distintos anchos y diámetros apropiados a cada caso, capaces de soportar los esfuerzos en el plano del tendel.

Obsérvese que la armadura [1.] está organizada de forma simétrica para evitar resultados negativos por errores de colocación del el albañil, y que además todas las "cerchas" están fabricadas con el adecuado tratamiento anticorrosión que cada caso requiera.



2.4. La fábrica, homogéneamente armada

La mejor forma de diseñar y construir para evitar todo tipo de problemas en la albañilería surgidos por su falta de capacidad a tracción, es armar de forma homogénea la fábrica, es decir, a niveles regulares alrededor de los 40 cm. de altura.

Modulando la fachada con cierta habilidad, es posible simplificar enormemente la construcción en beneficio de la calidad y economía de la edificación.

Se trata de armar conociendo y aprovechando a la vez todas las posibilidades que el sistema ofrece, lo que equivale a poder interrelacionar "las nuevas cualidades" con el "campo de aplicaciones", que *La fábrica armada* ofrece, es decir contemplar a un mismo tiempo: ((A)+(1)) + ((B)+(2)) + ((C)+(3)).

2.5. El control de la fisuración

Investigaciones hechas en Bélgica por el C.S.T.C. analizando el porcentaje de obras de fábrica agrietadas y sus causas, al inicio del uso de *La fábrica armada* en este país, y después de su aplicación durante 20 años, demuestran que las causas de fisuración disminuyen del 40 al 12%, teniendo mucho que ver en ello la aplicación de las armaduras Murfor [12.] (Fig.15.)

Tipologías constructivas de muros y cuantías de armado mínimas:

Cerramientos

En ocasiones caben varias soluciones:

Se puede obtener la misma cuantía de armado del 0,05% de la sección de un muro de 1/2 pie de fábrica de ladrillo visto (11,5 cm.), armando con cerchas en los tendeles (Fig.16.):

- cada 40 cm. de altura (6 hiladas) con cerchas de diámetro 4 mm. Lo que supone 2,5 mlxm² de cerchas.
- cada 60 cm. de altura (10 hiladas) con cerchas de diámetro 5 mm. Lo que supone 1,6 mlxm² de cerchas.

Muros de carga.

Si se trata de un muro muy ancho:

Se puede obtener la cuantía de armado del 0,03% aplicable a muros de fábrica anchos (>20 cm.), con cerchas los tendeles (Fig.17.) :



Fig.16.

Armado para el control de la fisuración de muro de 1/2 pie de ladrillo métrico (según EC-6).

- 2,5 mlxm² con cercha Murfor de alambres de 4 mm. cada 40 cm. de altura.
- 1,6 mlxm² con cercha Murfor de alambres de 5 mm. cada 60 cm. de altura.
- Ejecución en dos etapas de los paños de fábrica armada en esquina de cerramiento. Viviendas V.P.O.

- cada 40 cm de altura (6 hiladas de ladrillo/2 hiladas de bloque)
con cercha de 5 mm., lo que supone 2,5 mlxm² de cerchas.

2.6. Economía y seguridad en la albañilería

Estudio comparativo de costes

Recientemente se ha presentado en Londres un estudio comparativo entre costes de edificios construídos de forma tradicional y el ahorro obtenido aplicando los conceptos de la fábrica armada [13.].

Según la investigación de costes realizada, el ahorro es muy importante en dinteles y tabiquería, sin contar además las garantías de evitar la fisuración y por tanto el ahorro de costes posteriores muy elevados.

Respecto al estudio hecho sobre la aplicación del concepto de *La fábrica armada* en viviendas de muros de carga de Alemania, Italia y Suiza, el incremento medio equivale al aumento del 0,4% del coste de la estructura de muro de carga (colocando cerchas cada 40 cm. de altura). Para España, el incremento llega al 0,6%, en un estudio equivalente.

Es muy ventajoso, desde el punto de vista económico (disminuye el coste en un 6%), aprovechar las mayores posibilidades técnicas que ofrece *la fábrica armada* a la hora de construir con ella. Este es el caso de los muros sometidos a la acción horizontal del viento cuando los soportes estructurales están muy distanciados, como suele ocurrir en edificios industriales o grandes superficies (Fig.18.).

La mayor economía reside, sin embargo, en eludir los costes de reparación por fisuración y agrietamiento que suelen darse a lo largo del tiempo en la albañilería tradicional sin armar, al ser ésta el eslabón más débil de una cadena constructiva donde los otros componentes soportan tracciones. Además, si la fábrica es de material visto, cualquier reparación supone un parche visible.

La fábrica armada como material compuesto ofrece seguridad y economía en la albañilería.

2.7. La construcción sismorresistente

En zonas de grado sísmico elevado, es imprescindible contemplar el armado horizontal de la fábrica si se quieren evitar daños en edificios y personas. Dependiendo del riesgo existente, la cuantía de armado será distinta.

No debe olvidarse la necesidad de arriostrar unos muros de fábrica con otros, a fin de que todos contribuyan a estabilizar la obra frente a las acciones horizontales alternas y repetidas del seísmo (Fig.19.).

Según los expertos en la materia [14.], la acción sísmica produce en la fábrica fisuras o agrietamientos de tres tipos (Fig.20.):

- por alabeo del muro fuera del plano (verticales)
- por tracciones del paño de fábrica (diagonales en el paño)
- por tracción a flexión (diagonales en esquinas de huecos)

Las solicitaciones que contribuyen a ese tipo de fisuración, pueden absorberse en gran parte armando regularmente con "cerchas", y añadiendo suplementos en esquinas y zonas críticas.

El armado horizontal con cerchas ha de ir combinado con el armado vertical correspondiente, en esquinas, junto a huecos de puertas y ventanas, y disponiendo pilastras armadas cada 4 ó 5 m.

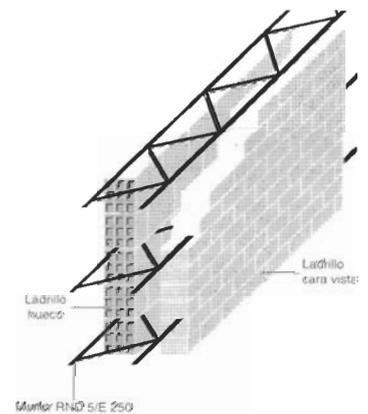
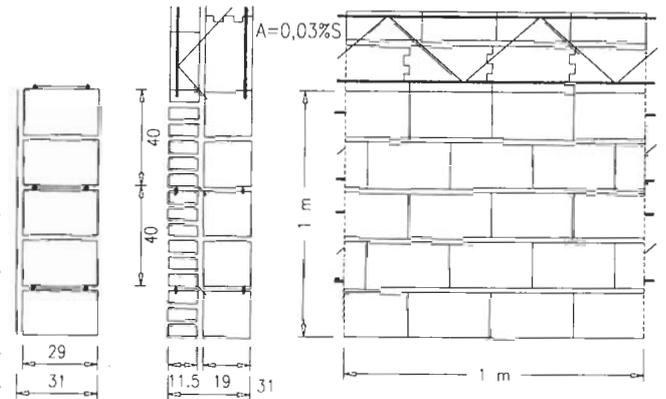


Fig.17.
Armado para el control de la fisuración de muro de 1 pie de grueso de fábrica cerámica.
2,5 mlxm² con cercha Murfor de alambres de 5 mm. cada 40 cm. de altura.
a) Bloque Termoarcilla de 29 cm. de grueso.
b) 1/2 pie ladrillo métrico + Bloque Termoarcilla.

Fig.18.
Cerramiento de dos hojas. Muro capuchino atado y reforzado con cerchas a caballo de las dos hojas.

[13.] Timperman, P. Rice, T. Use of Murfor blockwork reinforcement - Price comparison. Proceedings of the Fourth International Masonry Conference. London. Octubre, 95.

[14.] Calvi, M. Cálculo de estructuras de fábrica armada contra el seísmo. Informes de la Construcción, nº 421. CSIC. Madrid, Septiembre, 92.

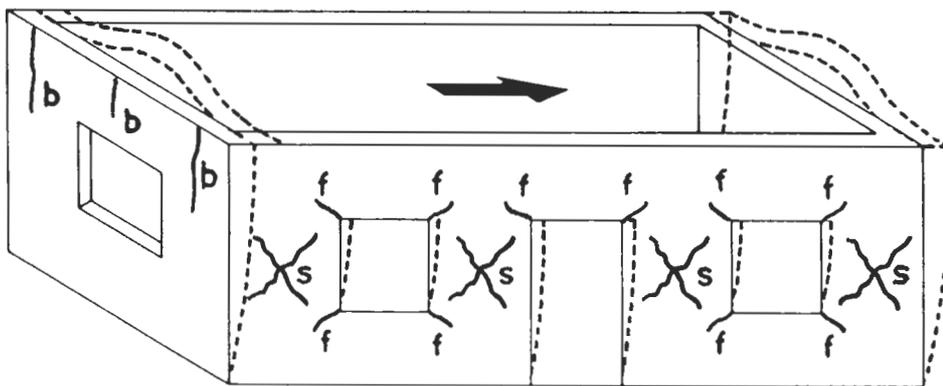
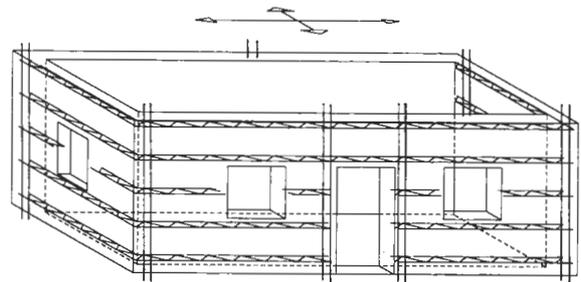
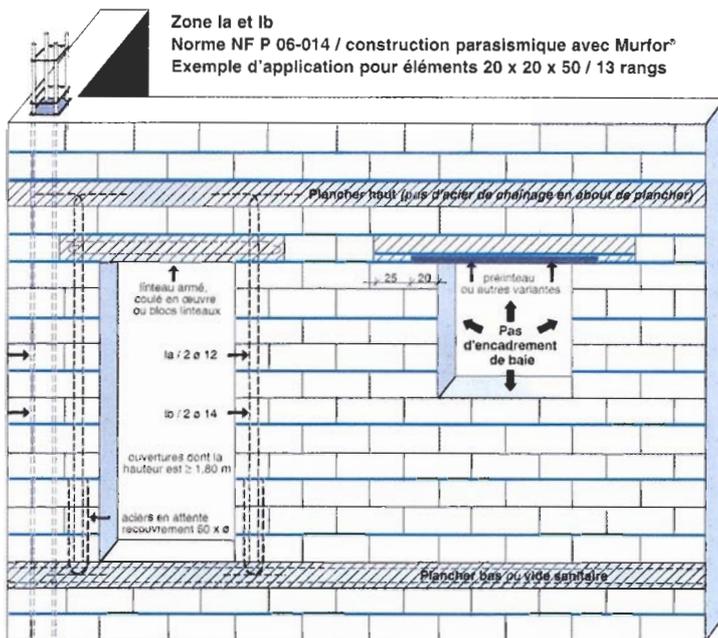


Fig.19.
Grietas y fisuras producidas por la acción sísmica.
b. por alabeo del muro fuera del plano
s. por tracciones diagonales del paño de fábrica
f. por tracción a flexión en las esquinas de los huecos

b = FISURACIÓN POR ALABEO DEL MURO FUERA DEL PLANO
s = FISURACIÓN POR TRACCIONES DIAGONALES DEL PAÑO
f = FISURACIÓN POR TRACCIÓN A FLEXIÓN

Fig.20.
a). Construcción sismorresistente: el armado horizontal con cerchas dispuestas regularmente, ha de ir combinado con el armado vertical en esquinas, junto a huecos y pilastras.
b). Solución Murfor acorde con la norma sísmica francesa.



La reciente norma española [15.], sobre construcción sismorresistente no contempla apropiadamente las ventajas que se obtienen de aplicar la fábrica armada a la albañilería cerámica, mientras que por el contrario si recoge las ventajas de armar con redondos las fábricas de bloques de hormigón hueco.

Es necesario corregir este error manifiesto de nuestra norma, que se ha producido por el involuntario desconocimiento de la *fábrica armada*.

El EC-6 contempla un tipo específico de fábrica que llama "confinada", idónea frente al sismo y que viene a ser la típica fábrica de bloque de hormigón hueco con zunchos y pilastras de hormigón armado, o bien fábricas que hacen más rígidos los pórticos de hormigón armado [16.].

2.8. La normativa y la fábrica armada

La normativa española sobre fábrica de ladrillo [17.] no contempla el armado de la fábrica, exclusivamente plantea anclajes de atado para muros doblados. Y sólo en otro apartado recomienda armar las juntas bajo concentración de cargas.

[15.] Norma Sismorresistente. BOE 8-Febrero-95.

[16.] EC-6. 5.2.9. Fábrica confinada. Figura 5.14: Ejemplos de fábrica confinada.

[17.] NBE FL-90 Muros resistentes de fábrica de ladrillo. MOPU.

[18.] EC-6. 5.2.3. Area mínima de armado (para evitar la fisuración). 5.4.2.2. Las armaduras de tendel pueden considerarse como llaves de atado en muros doblados y muros capuchinos.

La normativa europea recientemente aprobada EC-6 [5.], sobre Estructuras de fábrica, que acaba de traducirse al español, y su adaptación en el DNA (Documento Nacional de Adaptación) contempla ampliamente la *fábrica armada* y en concreto las posibilidades de las armaduras de tendel tipo cercha.

En especial hace referencia al armado de muros capuchinos en donde las armaduras de tendel cumplen una doble función:

- la de armar la fábrica, controlando su fisuración [18.]
- la de atar las dos hojas entre si (a modo de llaves de atado) permitiendo que trabajen solidariamente aun existiendo una cámara central [19.]

2.9. Manual Murfor: La fábrica armada

Guía práctica Murfor: armaduras para albañilería

Los conceptos que aquí se han vertido han sido convenientemente calculados y ensayados previamente en diversos países, aplicados a los materiales de cada lugar.

Los cálculos teóricos deben de contrastarse con la realidad que ofrece el ensayo basado en cada tipo de pieza concreto, ya que pequeñas variaciones en la dirección o grueso de las celdas de los materiales cerámicos, puede tener significativa incidencia en los resultados.

Existe un "Manual Murfor", enfocado a los profesionales de la arquitectura y la ingeniería, que expone los principios, tablas de cálculo, campos de aplicación, consejos de colocación, para garantizar la adecuada viabilidad del sistema en la práctica (Fig.21.).

También existe una "Guía Práctica" de albañilería dirigida a jefes de obra, contratistas, albañiles, etcétera, que expone y resuelve simplificadamente, en forma de "problema" y "solución", los casos de mayor aplicación (Fig.22.).

2.10. Investigación con fábrica armada y cerámica

La investigación desarrollada, o en fase de elaboración, en España con materiales cerámicos, ladrillos perforados, bloques Termoarcilla y armaduras Murfor, está actualmente en la cima de la investigación internacional y merece la suficiente atención para hacer un artículo aparte.

Los resultados de las campañas de ensayos ya realizadas han sido publicadas nacionalmente en Madrid 12/94, y en Londres 10/95 [20.] [21.].

Simplemente, indicaremos los campos en que se está investigando:

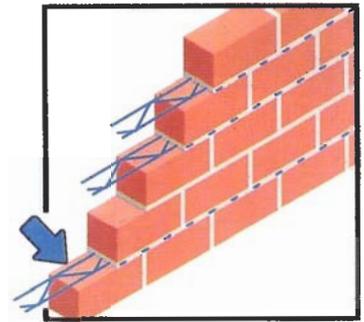
Tetrapilonos de El Espinillo: Ensayo "en obra"
 [(A)+(1)] + [(B)+(2)] + [(C)+(3)]

Ensayos de dinteles a flexión vertical: (Fig.23.)
 [(B)+(2)] CEDEX-MOPTMA

Ensayos de adherencia entre componentes:
 tipo "pull-out" en la ETSAM y el Instituto Eduardo Torroja

Ensayos de dilatación en muros largos [(A)+(1)]
 en ciudades con climatologías diversas

Ensayos de muros a flexión horizontal [(C)+(3)] (Fig.24.)
 para la fachada contemporánea "ACW" y "DCW".



La fábrica armada

Armaduras para albañilería



Fig.21.
Manual Murfor: La Fábrica Armada.

Fig.22.
Guía Práctica Murfor: Armaduras para Albañilería.

Fig.23.
Ensayo a flexión vertical de dintel de Termoarcilla con Murfor en el CEDEX

Fig.24.
Ensayo a flexión horizontal de muro de ladrillo perforado Malpesa con Murfor en el CEDEX

Fig.25.
Rehabilitación del edificio Grimaldi Park House de Londres con cerramiento autoportante de 1 pie de ladrillo de grueso. Detalle: hoja exterior pasante por delante de la estructura de hormigón.

[19.] EC-6. Detalle constructivo: Figura 5.11: Ejemplos de disposiciones del armado en la fábrica. h) muros con armaduras de tendel.

[20.] Adell, J.M. I Congreso Nacional de Tecnología de la Arquitectura: Estudio del comportamiento de la Fábrica armada con materiales cerámicos: (I) Flexión vertical, (II) Ensayos de adherencia. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. ETSA Madrid, 24-26/11/1994.

[21.] Adell, J.M. CEDEX. Vertical Flexural Bending in Lintels with Bed Joint Reinforced Clay Masonry in Spain. 4th International Masonry Conference. Proceedings British Masonry Society (Masonry 8). 23-25/10/95.



3.-LA FACHADA CONTEMPORANEA CON LA FABRICA ARMADA.

3.1. El Cavity Wall y su controversia

En otoño del 91, se publica en Londres el premio de calidad de la fábrica de ladrillo, recayendo en el edificio The Grimaldi Park House [22.] (Fig.25.), donde se practica una solución de cerramiento autoportante de un pie de ladrillo para la rehabilitación de un edificio histórico. Un planteamiento equivalente se hace en el Atkin Building [23.] utilizando un muro de 1 pie autoportante pasante por delante de la estructura metálica. Hammet escribirá posteriormente sobre este tipo de fábricas pasantes [24.].

En marzo del 92 en Londres [25.], se plantea un Congreso bajo el título: "The cavity wall controversy: have we got it all wrong?"

En el Congreso se contraponían varias tendencias:

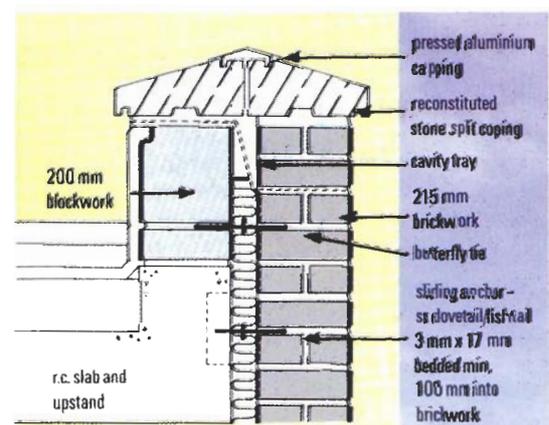
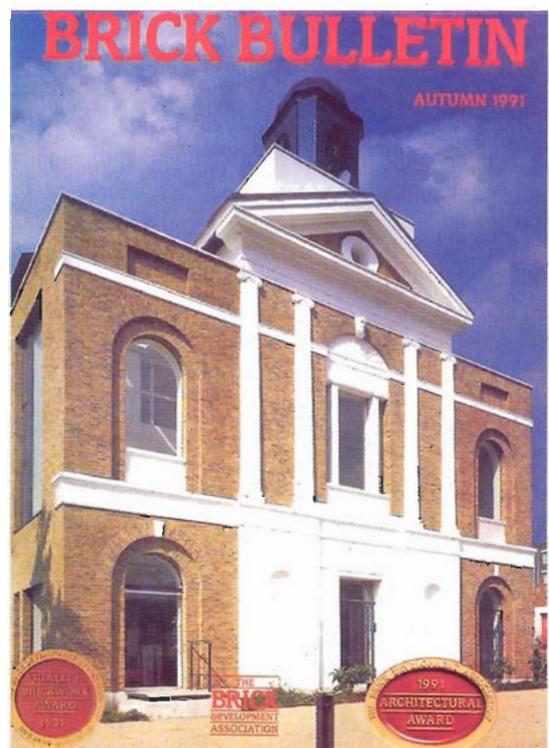
– los partidarios del sistema multicapas nacido a principios de este siglo, al que todavía se considera adecuado aunque se admite que cabe mejorarlo en algunos aspectos [26.].

– los que planteaban que dicha solución estaba agotada por haberse llegado a una excesiva complicación y coste de sus componentes constitutivos, y que era necesario replantearse volver a una solución de muro homogéneo, de una sola hoja, como en la antigüedad [27.] [28.].

– los que proponían una hoja exterior gruesa de 1 pie de fábrica de ladrillo pasante por delante de la estructura, exponiendo los edificios que acababan de ser galardonados [29.].

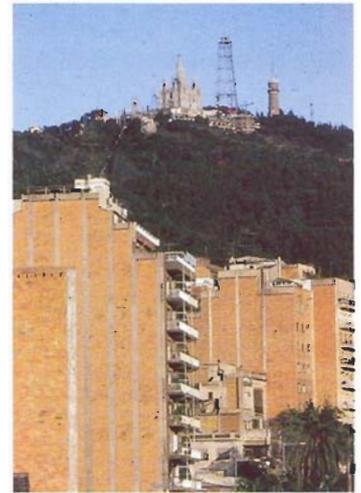
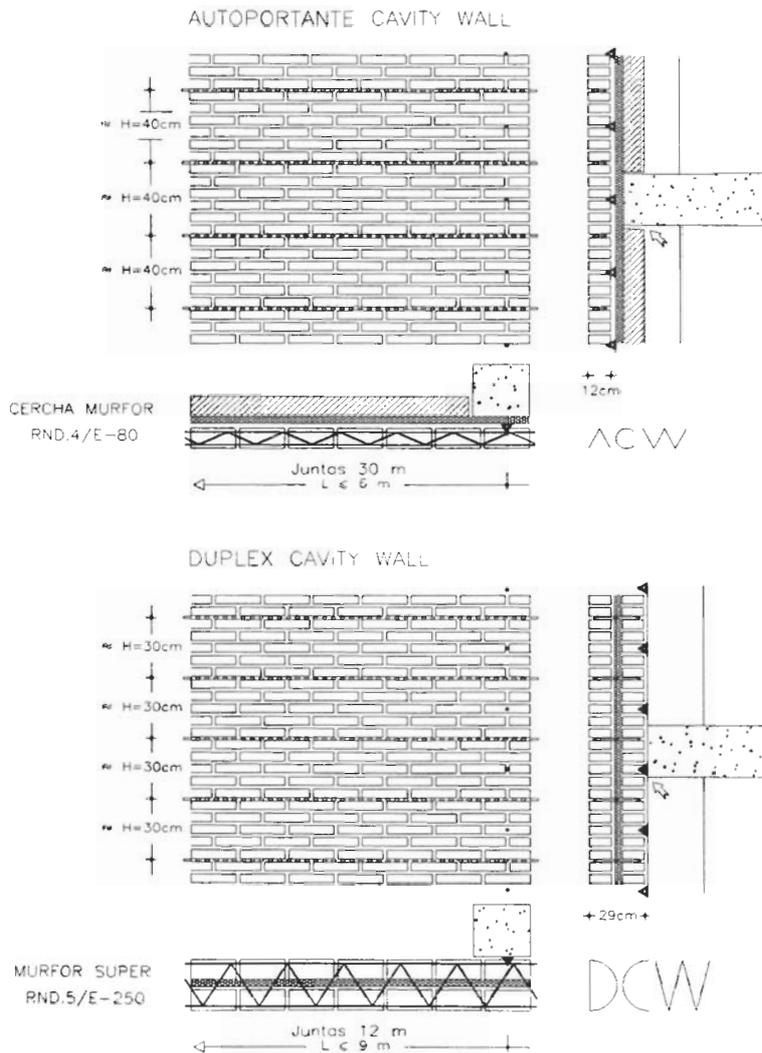
– No faltaron tampoco los que observando con perspectiva la controversia, la entendían más como una lucha de intereses entre fabricantes de componentes para el cavity wall, y fabricantes de materiales de aislamiento [30.].

Dos años después, en el 3IMC [10.] de octubre del 92, presenté el "ACW" (Autoportante Cavity Wall) con una hoja exterior de fábrica armada autoportante de 1/2 pie de grueso pasante por delante de la estructura. Este planteamiento sorprendió porque asumía parte de las ventajas de cada uno de los sistemas de la controversia anterior, al tratarse de una hoja delgada, y con muy pocos anclajes, gracias a las posibilidades que ofrece el armado por tendeles.



"LA FACHADA CONTEMPORÁNEA"

ARQUITECTURA SIN FISURAS CON LA FÁBRICA ARMADA



[22.] Gill, L.A. & Warren, P. *The Atkin Building. Brick Cladding to a Steel Framed Building; a different approach.* The Brick Development Association. London, 1987.

[23.] Allies & Morrison. *The Grimaldi Park House.* The Brick Development Association. 1991 Architectural Award. London, autumn 91.

[24.] Hammet, M. *The Neglected Alternative. Off the frame cladding.* Brick Bulletin. The Brick Development Association. Winter 93/94.

[25.] Sutherland, R.J.M. *Have we got all wrong? The Cavity Wall Controversy.* Proceedings of the British Masonry Society (Masonry 5). London, 03/1992.

[26.] Vekey, R.C. *Cavity Walls-Still a good solution.* The Cavity Wall Controversy. Proceedings of the British Masonry Society (Masonry 5). London, 03/1992.

[27.] Foster, D. *Some thoughts on single leaf masonry.* The Cavity Wall Controversy. Proceedings of the British Masonry Society (Masonry 5). London, 03/1992.

[28.] Roberts, J.J. *Solid walls versus Cavity walls - Some observations.* The Cavity Wall Controversy. Proceedings of the British Masonry Society (Masonry 5). London, 03/1992.

3.2. La fachada contemporánea: Arquitectura sin fisuras con La fábrica armada.

Por la fachada contemporánea: Arquitectura sin fisuras con la fábrica armada, debemos entender aquel muro de carga o cerramiento que se aprovecha de las posibilidades de la fábrica armada en su conjunto, tanto a efectos de controlar la fisuración, como para aumentar sus cualidades técnicas. Cuando se aplica al ladrillo visto, supone una novedad especial, ya que éste se aprovecha de unas cualidades y ventajas con las que hasta el momento no se podía contar (Fig.26.).

El "ACW" plantea una solución radical a la controversia del Cavity Wall, que requiere tiempo de reflexión y asimilación para poder entenderlo sin apasionamiento, y llevarlo a cabo con sencillez, naturalidad y economía, en beneficio de la mejora de la calidad de la arquitectura, con independencia de los diversos intereses comerciales que concurren en la construcción [10].

El planteamiento del "ACW" lleva al límite la consonancia entre disminución de componentes y costes, y el aumento de calidad del sistema. Se trata de construir la hoja exterior autoportante de 1/2 pie de grueso, y armada contra la fisuración, con el mínimo de elementos de relación o conexión entre la hoja exterior y la estructura.

Las maneras de anclar las fábricas serán objeto de análisis en un próximo artículo, contemplándose en relación las diversas piezas cerámicas.

Al igual que en la medianera mediterránea (Fig.27.) el tabique pluvial se sostiene exclusivamente con las costillas verticales de fábrica que sobresalen de las diversas crujías, "la fachada contemporánea", plantea conexiones exclusivamente en la vertical de los soportes o muros de arriostramiento, de tal manera que la fábrica, que puede ser pasante, permite ventilarse a través de su cámara de aire en toda la vertical del edificio.

Los cerramientos "ACW" y "DCW"; diferencias.

Existen dos versiones claramente diferenciadas de *La fachada contemporánea* ligada a cerramientos:

- "ACW" (Autoportante Cavity Wall) sólo compromete a la hoja exterior en su actuación de absorber el viento (Fig.28.).

En el "ACW" en función del 1/2 pie de ancho de los ladrillos, y las correspondientes cerchas situadas cada 40 cm. de altura, se pueden separar los anclajes hacia unos 6 m. de distancia para una acción de viento elevada, contando con el ancho del ladrillo métrico o castellano, de 11,5 centímetros.

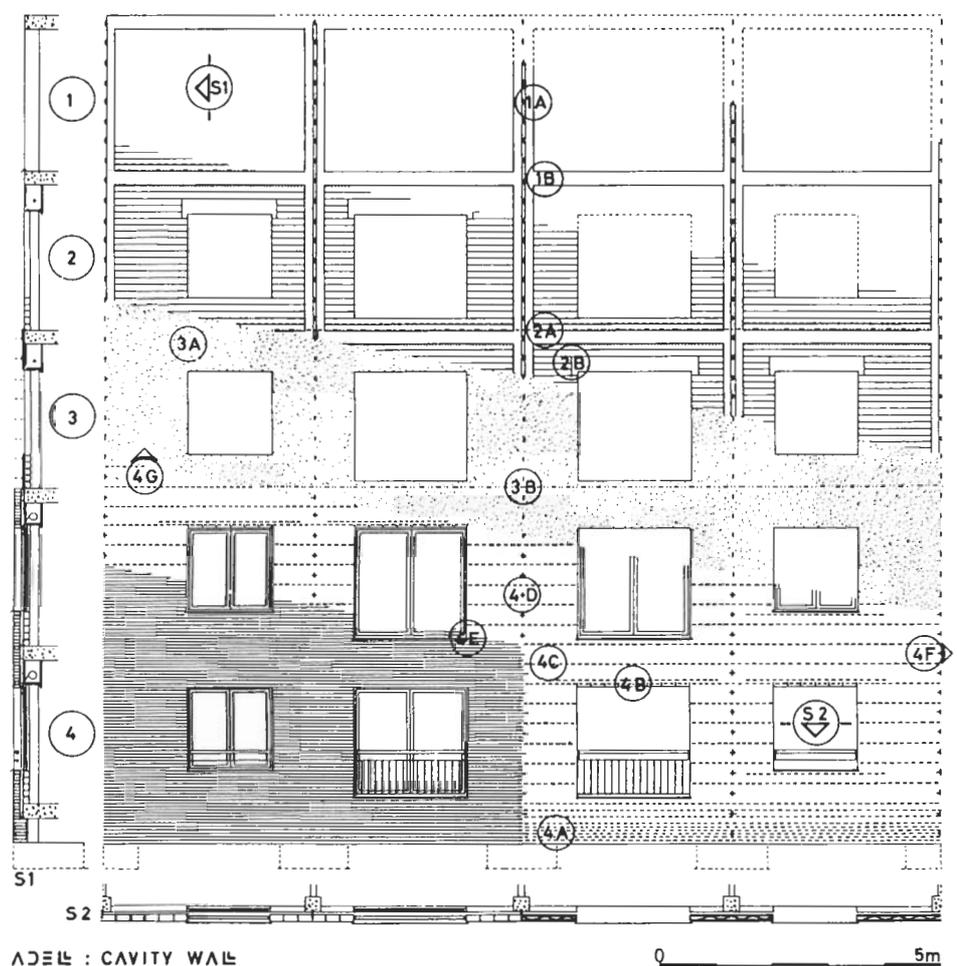


Fig.26. "La Fachada Contemporánea": Arquitectura sin fisuras con la fábrica armada, a) "ACW" Autoportante Cavity Wall. b) "DCW" Duplex Cavity Wall.

Fig.27. La medianera mediterránea. Ventilación continua al apoyar el tabique en costillas verticales. a) Calle a los pies del Tibidabo en Barcelona. b) La medianera al construir el edificio medianero. Se retira el tabique y se proyecta aislamiento.

Fig.28. "ACW" Autoportante Cavity Wall: Proceso de construcción del "ACW" con hoja exterior autoportante de fábrica armada.

1ª ETAPA: LEVANTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.

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

2ª ETAPA: EJECUCION DE LA HOJA INTERIOR DEL CERRAMIENTO

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

3ª ETAPA: APLICACION DEL AISLAMIENTO

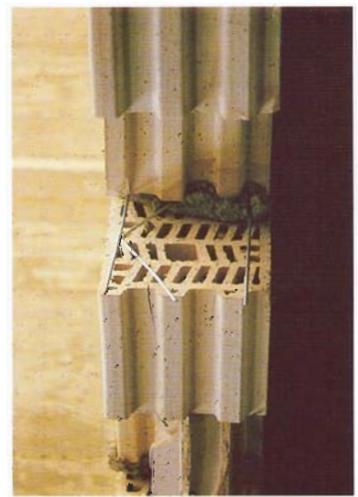
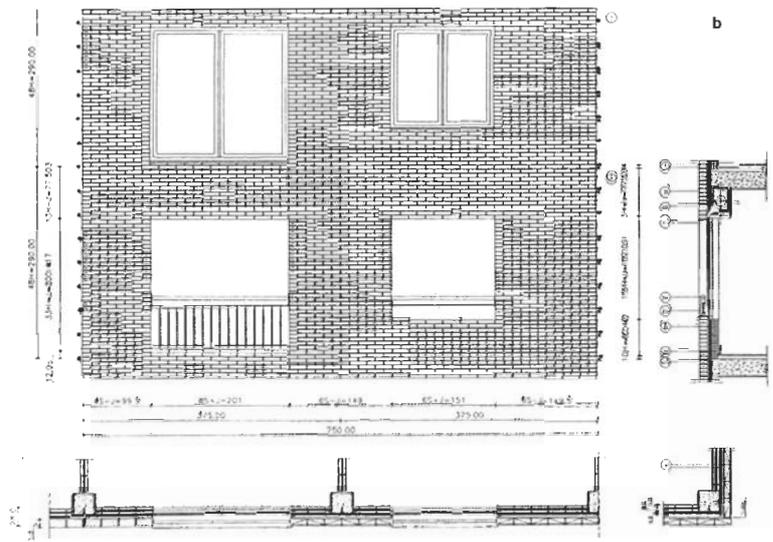
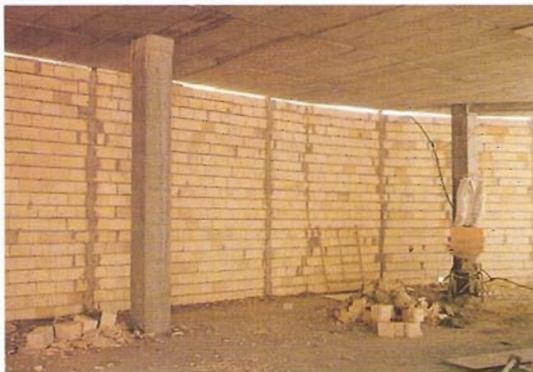
- 3.A- Aislamiento aplicado en continuidad.
- 3.B- Barrera ignífuga a nivel de forjado.

4ª ETAPA: CONSTRUCCION DE LA HOJA EXTERIOR DE FABRICA ARMADA.

- 4.A- Arranque en apoyo discontinuo del muro autoportante.
- 4.B- Armado de dinteles de fábrica armada.
- 4.C- Armado regular de la hoja exterior de fábrica armada.
- 4.D- Anclaje de la hoja exterior a los perfiles 1A.
- 4.E- Relación entre carpintería, vierteaguas, guía persiana.
- 4.F- Juntas de dilatación o cambios de plano.
- 4.G- Remate superior en peto de cubiertas o junto a forjados.

[29.] Bell, S.E. Some aspects of thick skin walling. *The Cavity Wall Controversy. Proceedings of the British Masonry Society (Masonry 5)*. London, 03/1992.

[30.] Peirs, G. Continental Cavity Walls are (sometimes) different. *The Cavity Wall Controversy. Proceedings of the British Masonry Society (Masonry 5)*. London, 03/1992.



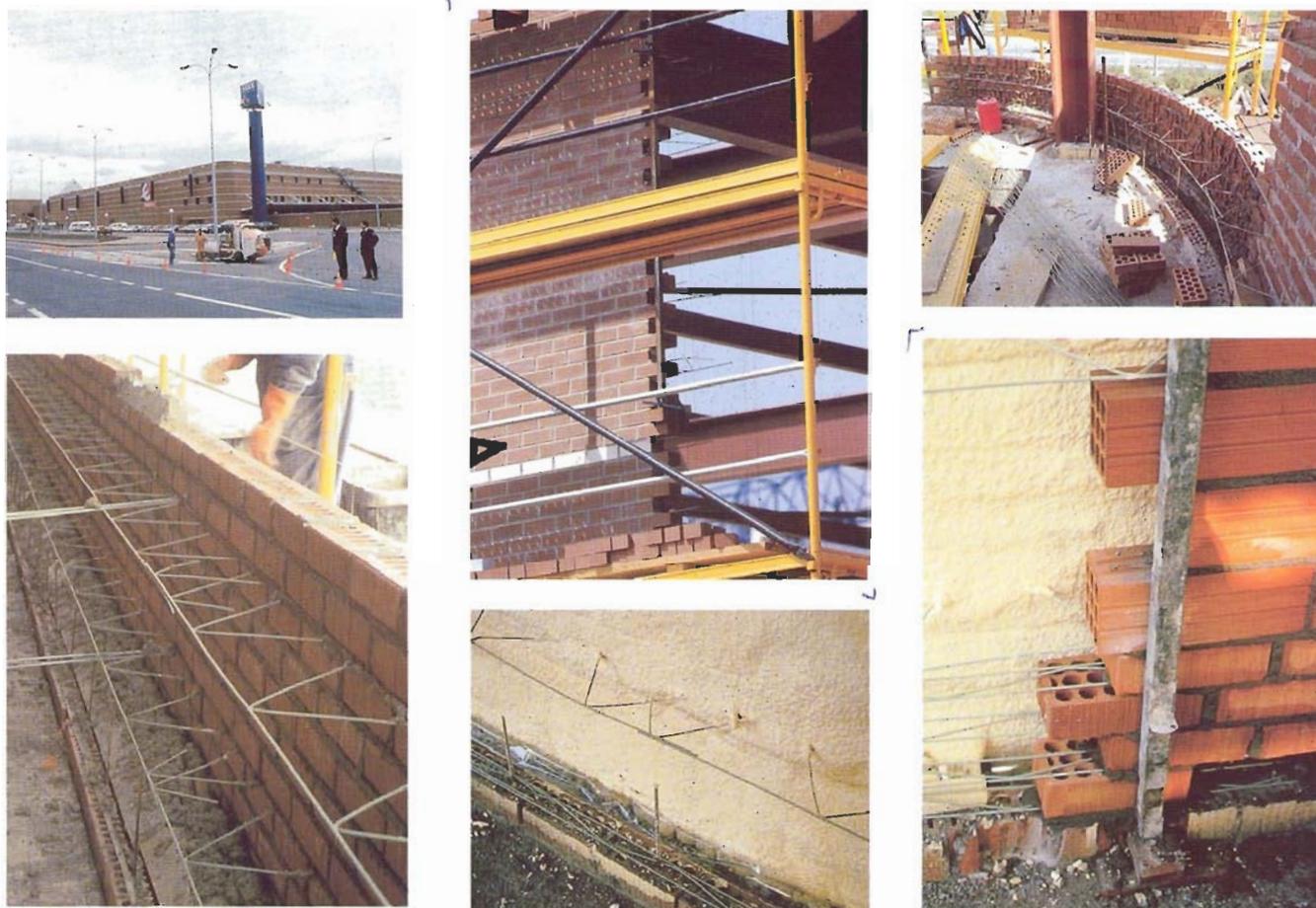
Esto hace del "ACW" una solución ideal para edificios residenciales donde las luces entre soportes o la separación de los muros de carga rondan los 6 m.

Para exponer el proceso constructivo del "ACW", se ha tomado como base el cerramiento del edificio de El Espinillo en Madrid, proyectado por el autor del artículo (Fig.29.). Se comprende que en el "ACW", al estar desligadas en su totalidad las dos hojas de fábrica, es posible aplicar detrás de la cámara de aire cualquier aislamiento sobre la hoja interior y la estructura, o utilizar una hoja interior de material de fábrica con suficiente coeficiente de aislamiento, de modo que se evite colocar otro componente en la cámara.

Ademas, el ACW puede organizarse con una sola hoja de material aislante como es el bloque Termoarcilla, habiéndose aplicado esta solución en el centro comercial "Gran Casa" de Zaragoza (Fig. 30.).

– El "DCW" (Duplex Cavity Wall) es un muro autoportante que hace trabajar solidariamente a las dos hojas del cerramiento para absorber el viento. La armadura de tendel triangu-

Fig.29.
 a) Edificio "Espinillo I". Arquitecto J.M. Adell, Madrid.
 b) Alzado y secciones del "ACW" planteado para el cerramiento del edificio.
 Fig.30.
 Construcción del Centro Comercial Gran Casa, Continente, en Zaragoza. Aranaz y Centelles Arquitectos.
 a) Vista exterior del cerramiento de fábrica armada de una sola hoja de bloque Termoarcilla 30x19x19
 b) Interior curvo. Pilastras metálicas embebidas en el grueso del bloque de 19. Junta bajo forjado.
 c) Detalle de colocación de la armadura Murfor RND.S/Z-150 cada 40cm de altura.
 e) Detalle de la cercha preparada para solapar y engarzar dos fases de la ejecución.



lada cumple una función "duplex" puesto que arma controlando la fisuración, al tiempo que actúa de llaves de atado entre las hojas de fábrica [19.].

El "DCW" saca el máximo provecho de las cualidades resistentes de la fábrica armada.

En el "DCW", contando con el atado de 2 1/2 pies de fábrica cerámica más el ancho de la cámara de aire (6 cm.), y situando las correspondientes cerchas cada 30 cm. de altura, los anclajes a los soportes se pueden llegar a distanciar 8 ó 9 m. En este caso, los cálculos contemplan un diámetro de 5 mm. en el alambre diagonal de la cercha.

En el caso del "DCW" son los edificios de naves industriales, polideportivos, grandes superficies, oficinas... los económicamente rentables para esta solución de muro, frente a otros con zunchos de hormigón tradicionales.

En el "DCW" según el tipo de edificio de que se trata, la hoja interior puede ser de material cerámico aislante (Termoarcilla, ladrillo hueco), o bien, por el contrario, proyectar el aislamiento en la cara exterior de la hoja interior de la cámara.

La solución con hoja exterior de ladrillo visto e interior de ladrillo hueco, ha sido la solución adoptada en el centro comercial Max Center de Bilbao, donde se ha preferido proyectar el aislamiento en la cara interior de la hoja exterior para aumentar su estanqueidad (Fig.31.) (Fig.32.).

Las posibilidades arquitectónicas de la fábrica armada y su aplicación en la fachada contemporánea se expusieron en el 10th International Brick and Block Masonry Conference, en Calgary, Alberta, Canada, 5-7, Julio, 1994 [31.] y en Florencia [32.].

Ventajas del "ACW" y del "DCW"

Las ventajas del "ACW" y "DCW" son:

– permite los movimientos diferenciales entre la estructura y la fábrica sin fisurar la albañilería.

Fig.31.

Centro Comercial MaxCenter, Erosqui, "DCW" Duplex Cavity Wall de hoja exterior de ladrillo visto y hoja interior de ladrillo hueco doble, Uriarte / Arechavaleta, Arquitectos, Bilbao.

a) Vista del edificio de 500x100 m de planta aproximada.

b) Detalle exterior de la ejecución del cerramiento con 1/2 pie de ladrillo visto con bandas blancas.

c) Detalle del armado de las zonas curvas, Poligonal de cerchas cortadas y solapadas más de 25cm.

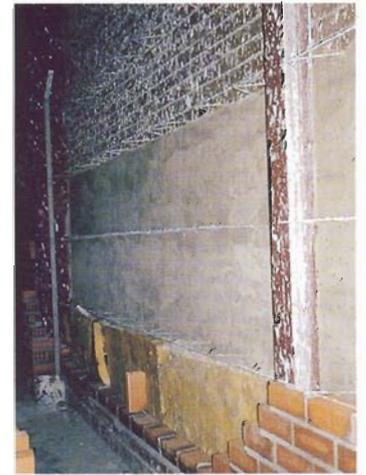
d) Trasdós de la hoja exterior de fábrica armada, Armaduras Murior RND,5/E-250 cada 40cm para trasladar la acción del viento a costillas dispuestas cada 8m, Armaduras Murior RND:4/E-50 para armar las costillas que soportarán el viento.

e) Ejecución de la hoja interior con armado para prevenir fisuras por flechas, una vez proyectado el aislamiento continuo impermeable, y colocado el babero para evitar infiltración de humedad.

f) Hoja interior de ladrillo hueco que se casa por niveles con la hiladas previamente armadas.

[31.] Adell, J.M. *Architecture and research with reinforced masonry. 10th International Brick and Block Masonry Conference. Calgary, Alberta, Canada. 5-7/07/1994.*

[32.] Adell, J.M. *Architecture and research with reinforced masonry. Ceramics in Architecture. Proceedings of the 8th CIMTEC-World Ceramics Congress. Florencia. Italia. 28/07/1994.*



- se evitan elementos de apoyo de la fábrica como angulares
- se disminuye mucho el número de juntas de dilatación
- no es necesario utilizar otros componentes para dinteles
- se puede mantener una cámara de aire vertical continua
- gracias a lo anterior, se evita el riesgo de penetración de agua
- ahorra impermeabilizantes ya que sólo se aplican en la base del muro
- permite continuidad al aislamiento; se evitan puentes térmicos
- ahorra costes de la estructura al no cargar el cerramiento
- sobre los forjados perimetrales, permitiendo distanciar
- sustancialmente los soportes del entramado
- aprovecha al máximo las cualidades resistentes de la fábrica
- elude utilizar gran cantidad de llaves de atado
- ahorra costos de energía mantenimiento del edificio
- aumenta la calidad del edificio al evitar su fisuración

Todas estas ventajas son mayores que el incremento de coste del armado y los anclajes (Fig.33.) [33.].

Si el "ACW" se apoya frenteando el forjado, es recomendable atar las dos hojas al menos cada 60 cm. de altura para evitar su vuelco hacia el exterior. Además de la solución pasante, existe la posibilidad de plantear una solución mixta de apoyos en los forjados de las diversas hojas (Fig.34.).

En el "DCW" también puede darse la solución de apoyar claramente la hoja interior y hacer la hoja exterior pasante, incluso apoyar ambas hojas.

En todos los casos se cuidará al máximo la ejecución de juntas para permitir flechar los forjados sin cargar la fábrica.

Los límites de altura suelen plantearse entre 4 y 6 plantas según países.

Muro de carga homogéneo

Si en la controversia sobre el "Cavity Wall", nos decantamos hacia la solución de cerramiento homogéneo, muy adecuado para edificios residenciales, el bloque cerámico aligerado ofrece grandes ventajas técnicas y económicas, si bien hay que contar con añadirle un acabado de mortero de cemento o monocapa (Fig.35.).

Los planteamientos desarrollados previamente son aquí también aplicables, con la ventaja del arriostamiento de unas fábricas con otras y el consiguiente ahorro de la estructura de acero u hormigón armado, al cargar los forjados de los muros.

Las "cerchas" con sus anchos variables, se acomodan perfectamente para resolver las sollicitaciones de cada paño de fábrica o zona del muro.

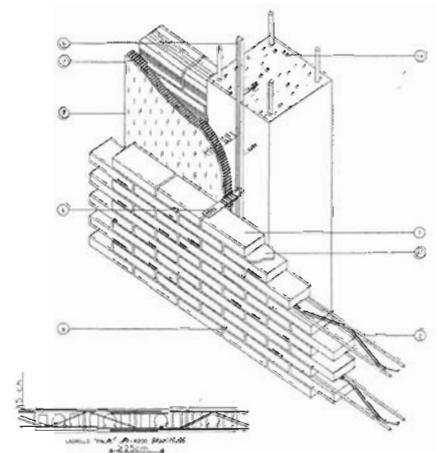
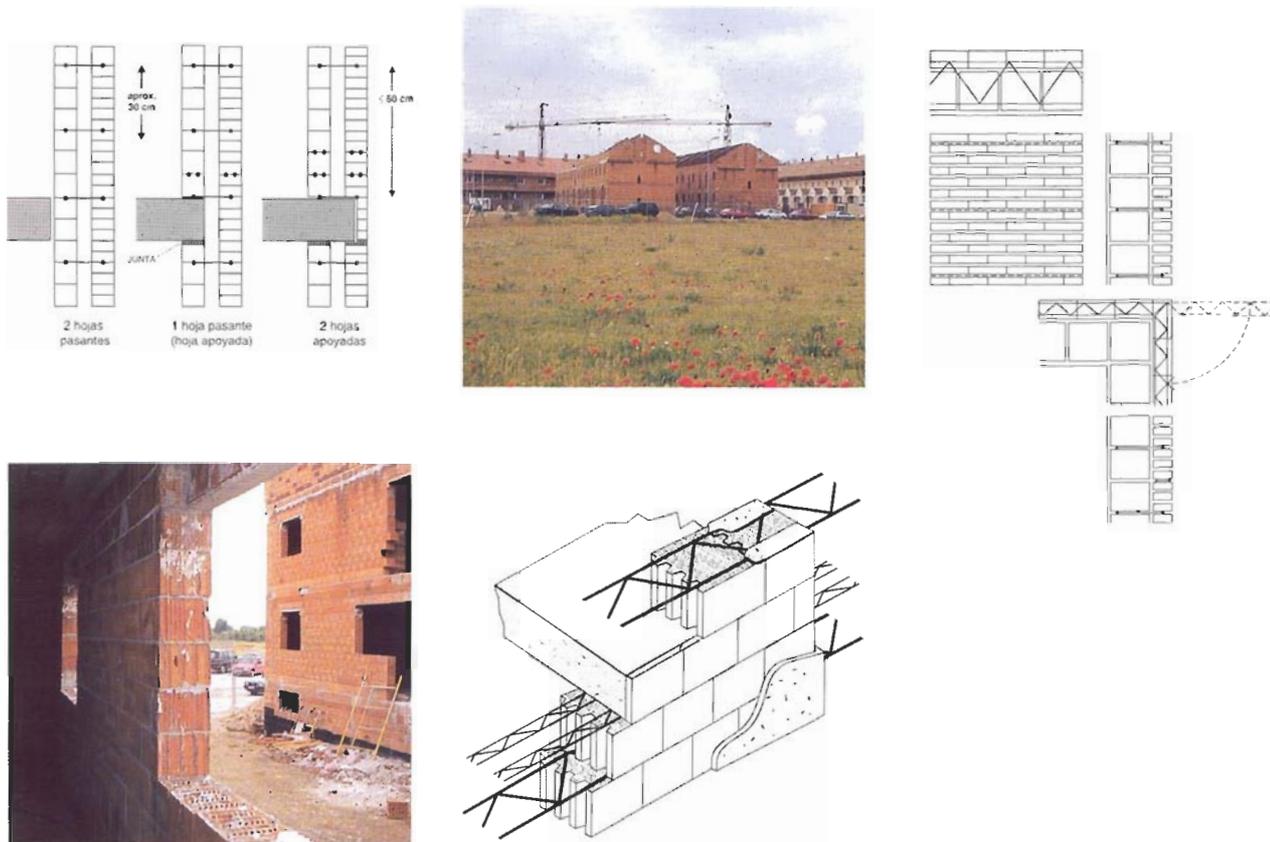


Fig.32.
Centro Comercial Augusta, Continente.
"DCW" Duplex Cavity Wall de hoja exterior de ladrillo visto, y hoja interior de ladrillo hueco doble. Estudio Ruiz de Azua, Zaragoza.
a) Vista del edificio terminado
b) Paños de ladrillo de fábrica con Murfor RND.4/z-200, duplicado inferior en previsión de posibles flechas del forjado.
c) Trasdosado con mortero hidrófugo, Cámara de aire, Aislamiento de planchas de fibra de vidrio, Hoja interior de ladrillo hueco doble, armada por niveles conjuntamente con la hoja exterior.

Fig.33.
Detalle del anclaje del "ACW"
Autoportante Cavity Wall planteado en las viviendas de El Espinillo.

- 1- Tabicón
- 2- "Murfor" RND.5/E-80.
- 5- Anclaje "Halfeneisen" HMS 25/15-D.
- 6- Anclaje "Halfeneisen ML 120/3 cada seis hiladas.
- 7- Ladrillo "Palau" LPV-R200 240/115/50.
- 8- Muro 1/2 pie.
- 9- Aislamiento proyectado de 40 mm.
- 14- Soporte

[33.] Halfen. Anclajes. Servido en España por MECANOTUBO, C/ Isaac Peral 5, 28914 Leganés-Madrid.



Así pues, es posible colocar armaduras del máximo ancho que permita la fábrica, para zuncharla a niveles regulares cada 40 cm. (2 hiladas). O por el contrario, pueden utilizarse armaduras más estrechas de unos 50 mm. de ancho para acomodarse en zonas de concentración de tensiones como es bajo el apoyo de los forjados, sobre las cimentaciones y en las primeras hiladas de los dinteles.

También se pueden hacer muros sin cámara de aire utilizando dos hojas de fábrica juntas, de manera que la exterior sea de ladrillo visto y la interior de bloque Termoarcilla atándose entre sí regularmente por niveles cada 40 cm. de altura (2 hiladas de bloque equivalentes a 6 hiladas de ladrillo), y suplementando en cada una de ellas el armado que las circunstancias precisen (Fig.36.).

4.-LA ARQUITECTURA DE LA PLAZA DE LA REMONTA:
LA LECCION DEL PASADO Y LA INNOVACION DE LA TECNICA

La plaza peatonal de la Remonta (Fig.37). es una actuación arquitectónica nueva, dentro del antiguo barrio de Tetuán, conocido por sus buenos ejemplos de Arquitectura de Ladrillos del siglo XIX [34.].

La complejidad volumétrica y el ziz-zagueado 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.

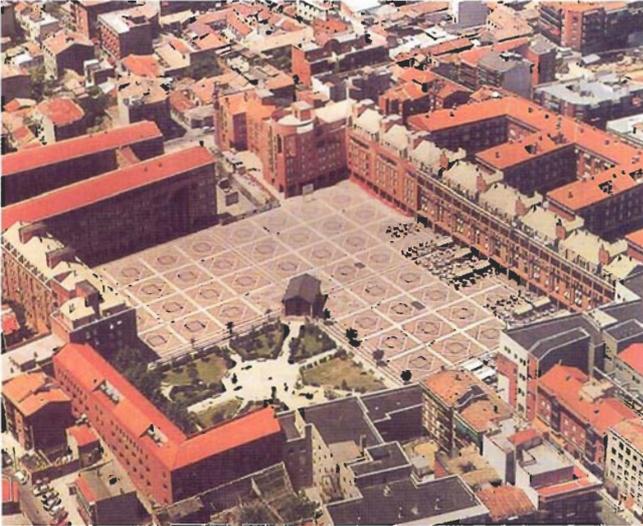
El edificio de la plaza de la Remonta, asume un doble compromiso:

- 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.

Fig.34. Tipos de apoyo posibles del "ACW " Autoportante Cavity Wall y del "DCW" Duplex Cavity Wall, a) Dos hojas pasantes b) Hoja interior apoyada y exterior pasante c) Dos hojas apoyadas.

Fig.35. a) Viviendas de V.P.O de Alcalá Comunidades, Arquitecto J.M. Montes, Alcalá de Henares (Madrid). b) Detalle de la ejecución de dinteles Termoarcilla con fábrica armada. c) Muro de carga homogéneo de una hoja de Bloque Termoarcilla de 29cm. Fábrica armada Murfor RND.5/E-250 cada 40cm. Dos armaduras Murfor RND.4/E-50 para reparto de cargas del apoyo del forjado.

Fig.36. Esquema de armado de muro doblado de hoja exterior con ladrillo cara vista e interior con Bloque Termoarcilla. Cerchas anchas tipo Murfor cada 40cm. de altura atando ambas hojas. Suplementos con cerchas estrechas en las esquinas.



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.38.). En este edificio, *la fábrica armada* se utilizó por primera vez en España de forma incipiente, aunque 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.39.).

La *fábrica armada* soluciona económicamente:

- las deformaciones impuestas
 - el peso del dintel con efecto arco
 - la acción horizontal del viento
 - el atado solidario de hojas sin aparejar
 - el enlace de esquina en ángulo menor de 90 grados
- ((A)+(1)) + ((B)+(2)) + ((C)+(3))

El dintel tiene 3 m. de luz, 72 cm. de canto por 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 "cerchas" localizadas en los primeros tendeles para soportar el dintel, trabajando como un arco rebajado ciego, atirantado. 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* para reflexionar sobre sus posibilidades arquitectónicas (Fig.40.):

- 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* con cerchas Murfor.

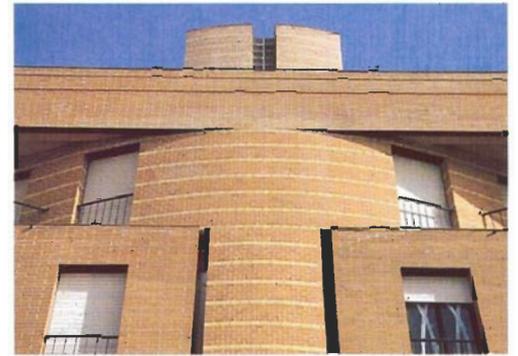


Fig.37.
Vista aérea de la Plaza de la Remonta, acabada la construcción del edificio de viviendas.

Fig.38.
Fábricas curvas y onduladas de ladrillo a tizón con bandas de color.

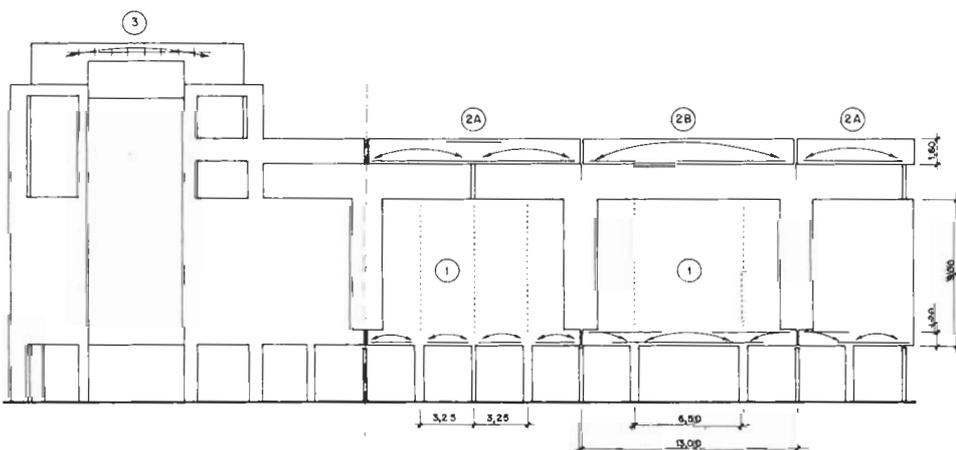
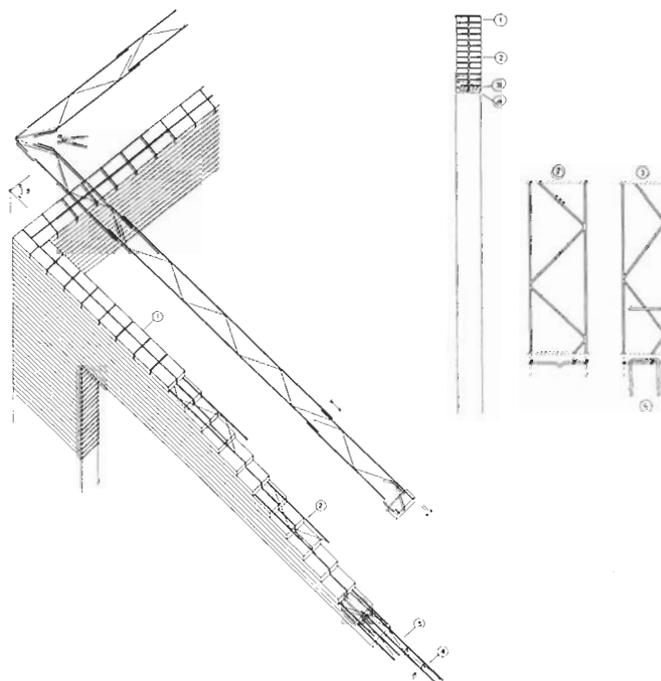
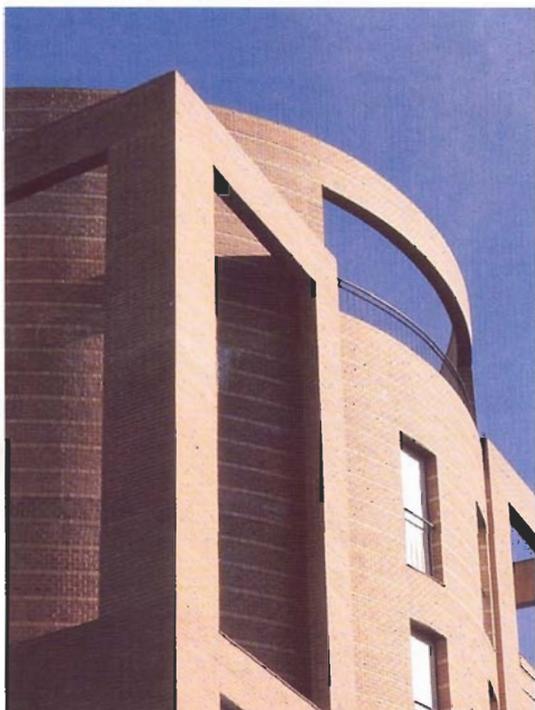


Fig. 39. Armado de las alas de la esquina del edificio con fábrica armada.

La Fábrica Armada soluciona económicamente:

- las deformaciones impuestas
- el peso del dintel con efecto arco
- la acción horizontal del viento
- el atado solidario de hojas sin aparejar
- el enlace de esquina en ángulo menor a 90 grados

Totál: $((A)+(1)) + ((B)+(2)) + ((C)+(3))$

Fig. 40. Análisis de las posibilidades de la fábrica armada, considerando el cerramiento del edificio de la Plaza de la Remonta. Esquema del alzado.

– Estudiando el esquema del alzado:

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. Algo no aconsejable en este caso al tratarse de *fábrica vista* y al exterior, aunque pudiera hacerse con armaduras inoxidables. El Manual Murfor español, plantea poder aceptar la de fisuración en dinteles.[1.]

Igualmente, considerando la zona del torreón circular:

3º) Cabría la posibilidad de solucionar el dintel curvo con *fábrica armada*, utilizando armaduras tridimensionales Murfor-RE (Fig.7.). Esta armadura, permite armar bidireccionalmen-



Fig.41. Dintel curvo de la esquina de la Plaza de la Remonta. Necesidad de armado tridimensional.

te con anillos superpuestos, que son capaces de soportar torsiones debido a sus cercos [35.] (Fig.41.)

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

Este dintel curvo volado en el aire, da que pensar sobre la necesidad de ampliar el campo de aplicación de la fábrica armada por tendeles, hacia el armado espacial o tridimensional.

En un próximo artículo, se analizarán las relaciones existentes entre las fábricas y los elementos estructurales (anclajes, apoyos, juntas,...), exponiendo las soluciones más apropiadas.

Este artículo también tratará sobre las ventajas del armado en tres dimensiones, utilizando piezas con grandes huecos, o piezas abiertas en forma de "U", o bien diseñadas para poderse abrir en obra. Cualquiera de estos ladrillos o bloques, puede combinarse con armaduras de tendel tipo cercha, barras, armaduras espaciales prefabricadas, tendones postesados, etc...

Todo ello, si se aplica a la *fachada contemporánea*, implica importantes mejoras, resolviendo económicamente los anclajes, y permitiendo crear soluciones de albañilería más perfeccionadas, como el Sistema MAP, Muro Autoportante Prefabricado.

El armado 3D de la fábrica, supondrá abrir, en el siglo XXI, un campo de aplicaciones y soluciones para la albañilería cerámica, comparable con lo que en su momento supuso para la Arquitectura Moderna las nuevas posibilidades técnicas y formales que ofreció el hormigón armado a principios del XX.

[35.] Oliveira, L. *La armadura tridimensional para fábrica armada. Informes de la Construcción 421*. Instituto Eduardo Torroja, CSIC. Madrid. 10/1992.

El autor agradece al director de NA, a BEKAERT y a HISPALYT, la inestimable colaboración prestada para la edición de este artículo.