

**CUADERNO  
DE  
COMUNICACIONES**



# 1<sup>er</sup> CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGIA EN LA ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION Y TECNOLOGIA ARQUITECTONICAS. ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA.  
MADRID. 24, 25-26 DE NOVIEMBRE DE 1994

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA FABRICA ARMADA  
CON MATERIALES CERAMICOS  
( I)- FLEXION VERTICAL  
(II)- ENSAYOS DE ADHERENCIA**

**Autor:** J.M. Adell Argilés, Profesor Dr. Arquitecto  
Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas ETSAM-UPM

**Dirección y Coordinación de la Investigación:** DECOTARQ-ETSAM-UPM  
(I) Ensayos realizados en: CEDEX-MOPTMA  
(II) Ensayos realizados en: ICCE.TORROJA-CSIC

**RESUMEN:**

Este estudio tiene por objeto conocer a nivel experimental el comportamiento de "La fábrica armada", entendida como el material compuesto que se obtiene al combinar los materiales cerámicos españoles -ladrillo cerámico perforado (Malpesa) y bloque cerámico aligerado (Termoarcilla)- con las armaduras prefabricadas de tendel (Murfor).

En (I), se avanzan resultados provisionales de la investigación, sobre los ensayos a compresión e hipocompresión de las piezas y fábricas empleadas, y sobre los dinteles de fábrica armada de ladrillo y de fábrica armada de bloque. En (II) se estudia la adherencia entre los diversos componentes de la fábrica armada de ladrillo.

El estudio en su conjunto, revela el buen comportamiento de los materiales ensayados, dentro de los márgenes de seguridad establecidos por el cálculo.

**INDICE PARTE (I)**

- 1.- Introducción
- 2.- Objetivos
- 3.- Plan de ensayo: Fases.
- 4.- Caracterización de los componentes: Ensayos de resistencia a Compresión e Hipocompresión de piezas y fábricas.
- 5.- Flexión Vertical: Geometría y Construcción.  
Tipos de Muros. Sistema de aplicación de cargas. Instrumentación.
- 6.- Ensayos de Muros de fábrica armada Termoarcilla:  
Análisis de los resultados de Dinteles Termoarcilla.
- 7.- Ensayos de Muros de fábrica armada de Ladrillo:  
Análisis de los resultados de Dinteles de Ladrillo.
- 8.- Avance de Conclusiones de la parte (I).

**INDICE PARTE (II)**

- 1.- Introducción
  - 2.- Objetivos
  - 3.- Características de las Probetas
  - 4.- Descripción del ensayo
  - 5.- Resultado de los ensayos
  - 6.- Análisis de los resultados
  - 7.- Observaciones derivadas de la nueva investigación en marcha.
  - 8.- Avance de conclusiones de la parte (II).
- \*.- Bibliografía para las partes (I) y (II).

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA FABRICA ARMADA  
CON MATERIALES CERAMICOS  
(I)- FLEXION VERTICAL**

**Adell Argilés, J.M.** Dr. Arquitecto - Prof. Dpto. Construcción y Tecno. Arqui. ETSAM  
**Realización de los ensayos en el CEDEX-MOPTMA**  
**Astudillo Pastor, R.** Ing. Caminos- Dtor. Laboratorio Central Estructuras y Materiales.  
**De las Casas Gómez, A.** Ing. Caminos- Jefe de la División de Edificación.  
**García Reig, J.** Ing. Caminos- Jefe del Sector de Estudios de Estructuras.  
**González Limón, T.** Arquitecto- División de Edificación.

**1. INTRODUCCIÓN**

Este estudio se ha realizado en el marco del convenio:  
"Ensayos sobre muros de fábrica armada con ladrillos cerámicos y bloques cerámicos aligerados", de mayo de 1993, firmado entre el Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas de la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, Hispalyt, N.V. Bekaert, S.A., y el Centro de Estudios y Experimentación CEDEX del Ministerio de obras Públicas Transportes y Medio Ambiente, MOPTMA.

Estos ensayos se inscriben dentro la Nueva Línea de Investigación:  
"Las fábricas, su comportamiento físico y mecánico", abierta en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM, en diciembre del 92, por el profesor J.M. Adell.

Esta investigación denominada "La fábrica armada con materiales cerámicos y armaduras prefabricadas para tendeles", está dirigida por D. J.M. Adell y consta de un amplio programa de ensayos, con cinco fases. Las cuatro primeras llevadas a cabo en el CEDEX, bajo la subdirección de D. Antonio de las Casas, y la quinta entre la ETSAM y el Inst. E. TORROJA, bajo la coordinación de D. Félix Lasheras.  
En el Estudio (I) se exponen los primeros resultados sobre la Flexión Vertical de dinteles de fábrica armada, y de ensayos a Compresión e Hipocompresión de piezas y fábricas. Los ensayos sobre Adherencia se ofrecen en el Estudio (II).

Esta investigación pretende conocer experimentalmente, las cualidades del nuevo material compuesto obtenido, según la combinación de materiales empleados, y las distintas solicitudes a que vaya a ser sometido, en relación a su campo de aplicación.

El estudio experimental planteado, también permitirá contrastar los valores tabulados del "material compuesto teórico", (basado en el buen comportamiento de "los materiales de fábrica de cualidades tipificadas como estándares" en combinación con las armaduras Murfor), con los valores experimentales obtenidos utilizando los materiales concretos de nuestro país. Es decir, referido a la combinación de éstas armaduras de tendel con cada material investigado, como son el ladrillo cerámico perforado (considerado de forma genérica), y el bloque cerámico aligerado, referido concretamente a la patente Termoarcilla (con sus peculiaridades específicas).

La fábrica armada previene y controla la fisuración de la albañilería, y permite al mismo tiempo incrementar las cualidades técnicas de las fábricas. En el caso concreto de los dinteles de fábrica armada, éstos son capaces de soportar su peso propio.

La fábrica armada en España, amplía de forma muy substancial su campo de aplicaciones, gracias a los "Principios de Cálculo y Tablas", establecidos por el Profesor Lahuerta, publicados en el "Manual Murfor" de Bekaert para nuestro país (2), y en "El Muro de Ladrillo" de Hispalyt (1).

Según estas tablas, los dinteles de la fábrica armada, además de su peso propio, pueden soportar también cargas de forjados. Para ello, es posible armar las hiladas inferiores del dintel, colocando incluso varias armaduras Murfor en el mismo tendel (mientras el grueso del muro lo permita), a fin de disponer de una mayor cuantía de armadura, de manera que permita afrontar mayores sollicitaciones a tracción, siempre que la resistencia a compresión de la fábrica en la dirección del tendel (en la zona comprimida), no se sobrepase en el estado límite último a flexión simple, del cálculo del dintel.

En la fábrica armada, si se quiere, puede aceptarse la microfisuración, (de forma equivalente a como ocurre en el hormigón armado, sin que sean apreciables visualmente las fisuras), con lo que se incrementan notablemente las posibilidades técnicas de la albañilería. Si la microfisuración no se admite, basta con limitar a 200 N/mm<sup>2</sup> la resistencia de cálculo a tracción en la armadura, de acuerdo con EC-6 (16).

Del análisis por partes y conjunto de los resultados, y de su comparación con lo tabulado, se podrá establecer si algún aspecto requiere de un estudio pormenorizado y estadístico en profundidad para su mejor conocimiento, antes de pronunciarse de forma concluyente. O por el contrario, si en determinados aspectos los ensayos experimentales no contradicen al cálculo, podrían interpretarse como su confirmación.

En la ejecución de los ensayos se han empleado:

- Ladrillos Cerámicos Perforados, cara vista: Malpesa.
- Bloques Cerámicos Aligerados: Termoarcilla.
- Armaduras Prefabricadas de Tendel, en forma de cercha: Murfor.
- Mortero M-80 realizado "in situ".

(\*) HISPALYT ha suministrado los materiales cerámicos.

(\*\*) BEKAERT ha suministrado las armaduras de tendel.

(\*\*\*) Las distintas fábricas se han ejecutado de acuerdo a los consejos y cálculos del Manual Murfor: La fábrica armada.

Nota: Por "Fábrica armada" se entiende en esta investigación, aquella que está Armada por Tendeles con Armaduras prefabricadas Murfor (4y6). En cada caso concreto, se referirá a la construida con Ladrillo Cerámico Perforado Malpesa o Bloque Cerámico Aligerado Termoarcilla.

## 2. OBJETIVOS:

Los objetivos del presente proyecto de investigación son los siguientes:

- 1.\*.- Conocer el comportamiento experimental de la fábrica armada Murfor, aplicada a los materiales propios de nuestro país, ensayada a flexión vertical y a flexión horizontal, en dinteles y muros de fábricas de ladrillo cerámico perforado y fábricas de bloque cerámico termoarcilla.
  - 1.1- Caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados: Armadura, Mortero, Ladrillo Perforado, Bloque Cerámico Aligerado.
  - 1.2- Estudiar el comportamiento del bloque termoarcilla, como constituyente de la fábrica armada.
  - 1.3- Comparar las resistencias obtenidas entre los ensayos a compresión normal y a hipocompresión (compresión en la dirección del tendel), de las fábricas de ladrillo por un lado, y las de bloque por otro, para conocer la heteroresistencia de cada una de ellas, acorde con la anisotropía de las piezas que las componen, y prever teóricamente el comportamiento de la fábrica armada hecha con estos materiales.
  - 1.4- Contrastar la influencia de las llagas machiembradas sin mortero, o rellenas de mortero, en el comportamiento de los muros de fábrica armada de termoarcilla.
  - 1.5- Comprobar si tiene alguna incidencia el tipo de protección frente a la corrosión de las armaduras Murfor empleadas.
  - 1.6- Observar si tiene especial incidencia el canto del muro en relación a su esbeltez en los ensayos.
  - 1.7- Observar si la influencia de la concentración de la cuantía de armadura, en una zona o tendel, ofrece el buen comportamiento esperado.
  - 1.8- Estudiar la posible influencia en la adherencia entre armadura, mortero y pieza, de las variaciones constructivas habituales en obra (Est-II).
- 2.\*.- Constatar experimentalmente, el cálculo tabulado del Manual Murfor, en función de las características de los materiales cerámicos de nuestro país, para tener una idea del grado de seguridad que ofrece en relación a sus peculiaridades específicas.
- 3.\*.- Permitir comparar los resultados experimentales obtenidos en España hechos con los materiales cerámicos propios, con los de los ensayos realizados en otros países de Europa, con otras piezas y criterios.

### 3. PLAN DE ENSAYOS: FASES.

Esta investigación está planteada como una primera aproximación experimental a la fábrica armada española, y como tal, más que buscar un conocimiento minucioso y en profundidad de algunos aspectos de ella, se pretende una primera toma de contacto con los materiales más comunes, que permita pulsar a grandes rasgos su adecuada viabilidad, de acuerdo con la teoría desarrollada, o si por el contrario, es conveniente tomar algún tipo de recomendación de uso.

Por tanto, el plan de ensayos propuesto, en vez de centrarse de forma estadística sobre algún aspecto concreto, estudia el conjunto de situaciones más comunes, ensayadas a Compresión e Hipocompresión, Flexión Vertical, Flexión Horizontal, Adherencia, etc., haciendo intervenir en ellas las diversas variables propias de ésta técnica constructiva.

Se ha organizado un plan de ensayos con 5 fases, que contempla ensayos sobre piezas y fábricas sin armar, y sobre fábricas armadas de ladrillo y de termoarcilla.

Con objeto de poder hacer un posterior análisis de los resultados, en comparación con los cálculos teóricos, se ha construido la geometría y el armado de los muros, de forma que permitan cotejar los valores tabulados. Se han escogido dos bandas de las tablas, situadas a 1/4 de los valores extremos inferior y superior de ellas. Es decir, se han hecho los cantos de los dinteles de 0,60 y 1,40m, cuando figuran tabulados los cantos 0,4/0,6/0,8/1,0/1,2/1,4/1,6m. Todos los muros ensayados son de 3,00m de largo. Para la flexión horizontal, la altura también está comprendida entre las medidas referidas. En todos los casos se trata de muros de una hoja, en que el grueso de la fábrica, lo da el ancho de la pieza.

#### FASE 1-FLEXION VERTICAL:

Con respecto a la Termoarcilla se estudian las siguientes variables:

- la incidencia del grueso del bloque utilizada (y del muro)
- las variaciones en la cuantía de armadura dispuesta en un mismo tendel.
- el tratamiento de ejecución de la llaga, con y sin mortero.
- la incidencia del canto de los dinteles viga o pared ensayados.

#### DINTELES TERMOARCILLA CON MURFOR RND.4/Z-50 mm (M-80)

- 1.a P PIEZA PEQUEÑA 300X140X190mm DINTEL 140mm GRUESO.
- 1.b G PIEZA GRANDE 300X290X190mm. DINTEL 290mm GRUESO.
- 2.a S SIN MORTERO EN LAS LLAGAS
- 2.b C CON MORTERO EN LAS LLAGAS

- 3.a V DINTEL VIGA 300X60cm TRES HILADAS TERMOARCILLA (ARMADO:2HL-2ARM / 1HL-4ARM)
- 3.b W DINTEL PARED WALL 300X140cm SIETE HILADAS TERMOARCILLA (ARMADO:4HL-4ARM / 3HL-9ARM)

Total: 8 probetas a ensayar en la fase 1.

Tipos de probetas: 1PSV 1PCV 1PSW 1PCW 1GSV 1GCV 1GSV 1GCW

#### FASE 2-FLEXION HORIZONTAL: (Ensayos en ejecución, no se ofrecen resultados)

Esta fase toma como guía la Tabla 16, "Muros con Acción de Viento y Sustentación Vertical del Manual Murfor", y se aplica a Bloques Cerámicos Aligerados de 190 y 290mm de grueso, así como al Ladrillo Cerámico Perforado contenido en la misma tabla de 115mm de grueso.

Variables a estudiar además de las propias de la termoarcilla y el ladrillo:

- la incidencia del grueso de la pieza utilizada en el muro termoarcilla.
- la incidencia del grueso del tipo de muro ensayado.
- las diferencias de ancho de las cerchas Murfor empleadas.
- las variaciones en el número de tendeles armados, (y su cuantía).
- el tratamiento de ejecución de la llaga, con o sin mortero.

MURO TERMOARCILLA CON MURFOR RND.4/E-100mm y RND.5/E-250mm  
MURO LADRILLO PERFORADO CON MURFOR RND.4/E-80mm (M-80).

- 1.a P PIEZA PEQUEÑA 300X190X190mm. MURO 190mm DE GRUESO.
- 1.b G PIEZA GRANDE 300X290X190mm. MURO 290mm DE GRUESO.
- 1.c L PIEZA DE LADRILLO 240X115X52mm. MURO 115mm GRUESO.

- 2.a C CON MORTERO EN LAS LLAGAS
- 2.b S SIN MORTERO EN LAS LLAGAS

- 3.a U TENDELES ARMADOS, CADA UNO (T=20cm) ALTURA (L=18cm)
- 3.b D TENDELES ARMADOS, CADA DOS (T=40cm) ALTURA (L=36cm)

Total: 8 probetas distintas a ensayar en la fase 2.

Tipos de probetas: 2PSD 2PCD 2PSU 2PCU 2GSD 2GCD 2LCU 2LCD

#### FASE 3-FLEXION VERTICAL:

Variables contempladas en los muros de fábrica de ladrillo:

- la influencia en la resistencia del tipo de protección de la armadura Murfor.
- la discontinuidad del armado, con la longitud de solape correspondiente.
- la incidencia del canto de los dinteles viga o pared ensayados.

#### DINTELES DE FABRICA DE LADRILLO 115mm + MURFOR + M-80

- 1.a Z ARMADURA RND.4/ZINC 50 mm. DE ANCHO
- 1.b E ARMADURA RND.4/EPOXY 50 mm. DE ANCHO
- 2.a N ARMADURA NORMAL = CONTINUA EN SU TOTALIDAD
- 2.b R ARMADURA ROTA = NO CONTINUA PERO CON SOLAPES (\*)  
(\* ) Longitud de solapes: 15cm en Zinc, 25cm en Epoxi
- 3.a V DINTEL VIGA 300X60cm 10 HILADAS (ARM. 2HL-2ARM)
- 3.b W DINTEL WALL 300X140cm 23 HILADAS (AR. 6HL-6ARM)

Total: 8 probetas distintas a ensayar en la fase 3.

Tipos de probetas: 3ZNV 3ZRW 3ENV 3ERV 3ZNW 3ZRW 3ENW 3ERW

#### FASE 4-ENSAYOS A COMPRESION DE PIEZAS & FABRICAS DE LADRILLO Y BLOQUE

Esta fase contempla los ensayos de apoyo a la investigación planteada en las fases anteriores, respecto a las piezas individualmente, o constituyendo parte de la organización constructiva de la fábrica. En esta última se tendrán en cuenta las variaciones de Con y Sin Mortero en la Llaga. Así mismo también se contemplan los ensayos del Mortero M-80 (y M-160 Est.II), para comprobar la adecuada resistencia de la mezcla realizada. (No se especifican todas los tipos de probetas).

- 1.a FL FABRICA LADRILLO. PROBETA: PRISMA 50X50X11,5cm.
- 1.b FB FABRICA BLOQUE C.A. PROBETA: PRISMA 60X60X19cm.
- 2.a C COMPRESION. PRISMA EN DISPOSICION NORMAL.
- 2.b H HIPOCOMPRESION. PRISMA GIRADO 90°.

Total: 4 prismas distintos: 4FLC 4FLH 4FBC 4FBH

- 3.a L LADRILLO CERAMICO PERFORADO
- 3.b B BLOQUE CERAMICO ALIGERADO
- 4.a C RESISTENCIA A COMPRESION
- 4.b T RESISTENCIA A COMPRESION TRANSVERSAL

Total: 4 Probetas distintas: 4LC 4LT 4BC 4BT

#### FASE 5-ENSAYOS DE ADHERENCIA ENTRE EL MORTERO, EL LADRILLO Y LA ARMADURA MURFOR

(Se desarrolla la investigación en el Estudio II)

Se plantean algunas circunstancias típicas que se dan en obra cuando se ejecuta la albañilería, para determinar si tienen un grado de incidencia relevante en el comportamiento de adherencia de la fábrica armada. Se estudia esta fase en probetas de 2 hiladas de ladrillo tipo "Sandwich", manteniendo constante la longitud de anclaje de 49cm.

Variables planteadas:

- El utilizar piezas macizas lisas, o con huecos en la tabla, mas adherentes.
- La importancia de mojar o no los ladrillos antes de su puesta en obra.
- El utilizar un mortero de cemento más rico del mínimo M-80 estipulado.
- la influencia del tipo de capa de protección de la armadura Murfor.

- 1.a A LADRILLO MACIZO SIN CAZOLETA 240X115X52mm
- 1.b B LADRILLO PERFORADO, HUECOS/TABLA 240X115X52mm

- 2.a H HUMEDECIDO (5 minutos embebido en agua)
- 2.b Y SIN HUMEDECER

- 3.a m MORTERO M-80 (1:4)(Tendel constante 10-12mm)
- 3.b M MORTERO M-160 (1:3)(Tendel constante 10-12mm)

- 4.a E ARMADURA RND.4/Epoxi 50mm
- 4.b Z ARMADURA RND.4/Zinc 50mm

Total: 16 probetas distintas a ensayar en la fase 5.

Tipos de probetas:

5AHmE 5AHmZ 5AHME 5AHMZ 5AYmE 5AYmZ 5AYME 5AYMZ  
5BHmE 5BHmZ 5BHME 5BHMZ 5BYmE 5BYmZ 5BYME 5BYMZ

Las 4 primeras fases del Plan corresponden al CEDEX, y la fase 5 a la ETSAM.

Inicialmente se realizó parte de la fase 4, para disponer de la caracterización mecánica de las piezas y las fábricas obtenidas con ellas, con el fin de poder prever un comportamiento orientativo de los ensayos a flexión vertical y horizontal.

#### 4. CARACTERIZACION DE LOS COMPONENTES: ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESION E HIPOCOMPRESION DE PIEZAS Y FABRICAS.

##### ARMADURA MURFOR

Las armaduras de tendel están reguladas por la norma CEN- preEN 845-3: "Specifications for ancillary components for masonry. - Part 3: Bed joint reinforcement" (14), y se contemplan en el EC-6 sobre las "Estructuras de fábrica", aprobado en Helsinki en junio de 1994 (16). Cumplen con las especificaciones de la EH-91. El límite elástico garantizado de 500 N/mm<sup>2</sup>, y carga unitaria mínima de 550N/mm<sup>2</sup>.

Las armadura Murfor, están prefabricadas con dos alambres longitudinales separados y soldados entre sí mediante otro diagonal en zic-zag soldado en su mismo plano, de manera que conforma una cercha triangulada indeformable, cuyo grueso total no sobrepasa el de los dos alambres longitudinales.

Para la flexión vertical se han empleado las armaduras Murfor RND.4/ -50mm, con alambres longitudinales de 4mm de diámetro, separados 5cm entre sí por el diagonal de 3,75mm de diámetro.

En esta investigación, se han utilizado armaduras con dos tipos de protección contra la corrosión: de Zinc ( /Z) y de zinc + capa Epoxi ( /E).

(No se plantea ensayar las armaduras en esta investigación).

##### MORTERO M-80

Sobre la Resistencia del Mortero hay que señalar la dificultad de conseguir un mortero con una resistencia prefijada, siguiendo las indicaciones de la norma NBE FL-90 (13). Los resultados de resistencia obtenidos dosificando por volumen son muy variables.

En cuanto a los resultados de resistencia obtenidos en el mortero empleado, en la mayoría de los casos se ha superado ligeramente la resistencia de 80 Kp/cm<sup>2</sup> excepto en los muros 8 y 18, cuyos valores han sido 60 y 66 Kp/cm<sup>2</sup> respectivamente. Recordemos que el Manual Murfor estipula una resistencia característica mínima de 80 Kp/cm<sup>2</sup>.

##### LADRILLO CERAMICO PERFORADO

Se han considerado las características ofrecidas por el fabricante (Malpesa), que garantiza una resistencia superior a 200 Kp/cm<sup>2</sup>. El sello de calidad INCE, garantiza los 100 Kp/cm<sup>2</sup> de resistencia característica a compresión de la pieza.

Los cálculos del Manual Murfor contemplan 10 N/mm<sup>2</sup> como resistencia característica a compresión de la pieza de ladrillo cerámico perforado. (100 Kp/cm<sup>2</sup> = 10 N/mm<sup>2</sup>)

##### FABRICA DE LADRILLO

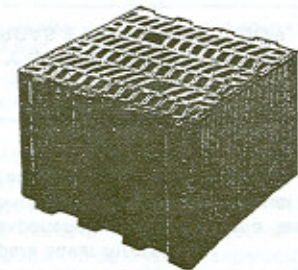
Por lo que respecta a la fábrica de ladrillo, ésta es relativamente isótropa si se compara con otros materiales, y se considera que dado lo pequeña que es la pieza, y las características de sus perforaciones, éstas quedan rellenas de mortero al sentar la pieza en la fábrica, macizándolos y colaborando en su resistencia.

Por la calidad de los ladrillos Malpesa empleados y las circunstancias mencionadas, no se ha requerido un estudio especial en este campo. Se prevé un comportamiento de la fábrica de ladrillo cerámico perforado muy homogéneo, sin grandes contrastes de resistencia en las dos direcciones del ensayo. Esto es positivo para el buen comportamiento del nuevo material compuesto fábrica armada.

La resistencia de cálculo a compresión se puede evaluar con la tabla 5.3 de la FL-90. Entrando con un ladrillo de 200 Kp/cm<sup>2</sup>, mortero M-80 y grueso de junta de 1 a 1,5cm, se obtiene una resistencia de cálculo a compresión perpendicular al tendel de 28 Kp/cm<sup>2</sup>

Según el Manual, la resistencia de cálculo a compresión en el sentido perpendicular al tendel debe ser de 1,8 N/mm<sup>2</sup>, mientras que en el sentido paralelo a los tendeles el valor ha de ser 1,0 N/mm<sup>2</sup>. La resistencia de cálculo, se obtiene de dividir la resistencia característica, por el coeficiente de minoración de la fábrica, considerado 2,5 en los cálculos del Manual.

##### BLOQUE CERAMICO ALIGERADO: TERMOARCILLA



Pieza de 300x190x290mm.

La pieza del Bloque Cerámico Aligerado Termoarcilla, de grandes cualidades térmicas y resistentes, está diseñada para unir una con otra sin disponer mortero en la junta vertical, para lo cual tiene unos entrantes y salientes laterales, que permiten el acoplamiento de ambas. La longitud es de 300mm, y altura de 190 mm, mientras que el ancho varía entre: 140, 190, 240 y 290 mm.

Se ha determinado en laboratorio la resistencia a compresión (normal al tendel) y a hipocompresión (paralela a la dirección del tendel) de 9 bloques de dimensiones 30 x 19 x 29 cm. Los ensayos se han realizado siguiendo la norma P.N.E. 67.046. Las caras paralelas a los platos de carga fueron refrentadas con mortero de cemento.

La resistencia característica a compresión de la pieza está garantizada en más de 100 Kp/cm<sup>2</sup>. Los ensayos realizados con 6 piezas, con resultados muy poco dispersos, arrojan una Resistencia característica de 160,4Kp/cm<sup>2</sup> superando lo estipulado. Los cálculos del Manual Murfor contemplan 10 N/mm<sup>2</sup> (100kp/cm<sup>2</sup>), como resistencia característica a compresión de la pieza de Bloque Cerámico Aligerado, ampliamente superado con estos ensayos.

Por el contrario, los resultados de las 3 piezas ensayadas a hipocompresión han sido bastante dispersos y bajos, con lo que se aconseja realizar un estudio con más muestras, y con distintos anchos de pieza, para conocer este valor estadísticamente.

#### FABRICA DE TERMOARCILLA

Los ensayos a compresión e hipocompresión aplicados a las fábricas de bloque termoarcilla, se han practicado en prismas de 60x60cm con 3 hiladas de fábrica de bloque de 19cm de ancho, sin armar y hechos con mortero M-80. Se han ensayado prismas con mortero en las llagas y sin mortero en ellas. (En esta investigación el mortero se ha dispuesto en toda la superficie del tendel).

Con respecto a la resistencia a compresión obtenida en estos prismas, se comprueba que apenas tiene influencia que tengan o no mortero en las llagas, por cuanto los valores medios obtenidos entre dos probetas de cada tipo, están en 58,37 Kp/cm<sup>2</sup> y 57,1 Kp/cm<sup>2</sup> respectivamente.

La poca relevancia en la resistencia a compresión, de colocar o no, mortero en las llagas, ya fue comprobada experimentalmente por el Profesor Villegas, en la investigación llevada a cabo en Santander en 1992 (11).

Por tanto se cumple sobradamente lo fijado en el Manual Murfor sobre la resistencia de cálculo, de la fábrica de bloque cerámico aligerado, considerada 1,8 N/mm<sup>2</sup>.

En cambio, en la resistencia a hipocompresión de la fábrica termoarcilla, se obtienen mayores valores de resistencia, en los prismas que tienen mortero en las llagas, 12,33 Kp/cm<sup>2</sup>, respecto a los que no lo llevan, 9,09 Kp/cm<sup>2</sup>. Hay que resaltar que en ambos casos, la resistencia a hipocompresión de la fábrica, da valores superiores a los ofrecidos por las piezas individualmente, sin embargo estos valores están por debajo de lo estipulado en el Manual, como resistencia de cálculo a compresión de la fábrica paralela a los tendeles, de 1,0 N/mm<sup>2</sup>.

La justificación del incremento de valores, en los ensayos de la fábrica con respecto a los de la pieza, puede estar en la contribución del tendel de mortero, al ensayarlo verticalmente, así como a que los prismas ensayados, son de menos grueso que las piezas ensayadas individualmente, lo que implica menor proporción de celdas en relación a la contribución de las paredes exteriores continuas.

En la forma de rotura de las piezas y prismas de termoarcilla, se aprecia claramente la diferencia de comportamiento de la pieza en las dos direcciones del ensayo. Ello se debe a la disposición inclinada de los tabiquillos de las celdas, en relación a la dirección en que fué aplicada la carga.

(Esto hace suponer que, entre las causas de rotura de los ensayos de los dinteles, influya el agotamiento de la sección comprimida en las fábricas con mortero en las llagas, y previsiblemente por cortante en el caso de que no haya mortero en ellas.)

Parece lógico recomendar el diseño de una pieza que, además de ser suficientemente aislante y resistente, tuviera las costillas entre celdas de manera que fueran capaces de transmitir mejor los esfuerzos en el plano horizontal de la fábrica. Especialmente si deben soportar solicitaciones horizontales producidas por efecto del sismo.

Si se diseña una pieza de bloque cerámico aligerado "sismoresistente" deberá considerarse además, la posibilidad de que pueda alojar también armado vertical, así como que las llagas esten pensadas para llevar mortero.

En este aspecto, podría servir la experiencia de la industria ladrillera italiana, conjuntamente con la del Profesor Calvi, que ha redactado el Manual Murfor Italiano, donde se contempla ampliamente la fábrica armada en condiciones sísmicas (8).

#### 5. FLEXION VERTICAL: GEOMETRIA Y CONSTRUCCION, TIPOS DE MUROS, SISTEMA DE APLICACION DE CARGAS E INSTRUMENTACION.

##### GEOMETRIA Y CONSTRUCCION

En la geometría y construcción de los muros, se ha seguido lo planteado en la FASE 1 para la termoarcilla y en la FASE 3 para el Ladrillo. En ellos se estudian la incidencia de las diversas variables presentadas, en función de los objetivos previstos.

Conviene recordar, que para que el proyectista pueda decidir más fácilmente a la hora de diseñar, entre las características resistentes de la fábrica armada, obtenida utilizando unos materiales u otros, los cálculos tabulados y los ensayos que se han realizado, se han hecho colocando la primera armadura del dintel, sobre un cuelgue inferior de 10cm, con independencia de la separación vertical entre tendeles que ofrezca el tipo de pieza empleada. La altura de la pieza, sí empieza a contemplarse a partir de las siguientes hiladas, para el armado de los siguientes tendeles.

Esto implica que en las fábricas de termoarcilla, hay que utilizar medias piezas de bloque (cortadas horizontalmente), mientras que para las fábricas de ladrillo hay que empezar a armar a partir del segundo tendel, si se ponen los ladrillos de plano como en este caso, (lo que no impediría hacerlo a partir del primero, estando del lado de la seguridad), o sobre la primera hilada de ladrillo a sardinel, de medio pie de cuelgue.

Con ambos materiales, el Manual aconseja colocar ganchos Murfor LHK, (de 84 o 44 mm. de longitud, ensartados en la primera armadura de tendel y metidos en las llagas entre las piezas cada 40cm como máximo, para evitar que se desprendan las piezas de cuelgue de la primera hilada.

Para construir los dinteles se han seguido los "Consejos" del Manual Murfor, en lo referente a cada tipo de fábrica (si se exceptúa el caso de "sin" mortero en la llaga), y tipo de armadura empleada.

Para comprobar la influencia de las variables planteadas, los muros se podrán comparar entre sí, de dos en dos, atendiendo al significado de las siglas expuestas en las fases del plan de ensayos.

A la vista de los primeros resultados de ensayo, la dirección del CEDEX creyó conveniente cambiar los muros 23 (3ZNV) y 24 (3ENV) (planteados para profundizar en el comportamiento de las armaduras discontinuas y solapadas), por los muros 23 (3Z1NV) y 24 (3Z3NV) con "1" y "3" armaduras Murfor respectivamente, para poder ver el comportamiento de la fábrica armada de ladrillo, en situaciones capaces de soportar más o menos solicitaciones que las ofrecidas en el Manual. De esta forma se pretende estudiar el material compuesto, llevándolo a situaciones límite de agotamiento, por rotura a tracción del acero ("1" armadura), o por compresión de la fábrica en la dirección de los tendeles en la parte superior central ("3" armaduras).

#### TIPOS DE MUROS:

Hasta ahora, la flexión vertical se ha ensayado en 12 muros: 6 de fábrica de bloque termoarcilla y 6 de fábrica de ladrillo perforado.

Los muros se han construido todos de la misma longitud, 3m, pero con dos alturas tipo, 0,60m para los dinteles viga, y 1,40m para los dinteles pared. El grueso del dintel es función del tipo de pieza utilizado en cada caso, y el armado responde al plan expuesto, con las variantes comentadas.

TABLA I: TIPOS DE MUROS ENSAYADOS A FLEXION VERTICAL

MURO	TIPO DE PIEZA	ARMADO	DIMENSIONES (m)
MURO 1 (1PSV)	TERMOARCILLA	2 HILADAS 2 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x0,60x0,14
MURO 2 (1PCV)	TERMOARCILLA	2 HILADAS 2 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x0,60x0,14
MURO 5 (1GSV)	TERMOARCILLA	1 HILADA 4 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x0,60x0,29
MURO 6 (1GCV)	TERMOARCILLA	1 HILADA 4 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x0,60x0,29
MURO 7 (1GSV)	TERMOARCILLA	3 HILADAS 9 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x1,40x0,29
MURO 8 (1GCW)	TERMOARCILLA	3 HILADAS 9 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x1,40x0,29
MURO 17 (3ZNV)	LADRILLO	2 HILADAS 2 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x0,80x0,115
MURO 18 (3ZRV)	LADRILLO	2 HILADAS 2 MURFOR RND.4/Z-50 mm	3,00x0,80x0,115
MURO 19 (3ENV)	LADRILLO	2 HILADAS 2 MURFOR RND.4/E-50 mm	3,00x0,80x0,115
MURO 20 (3ERV)	LADRILLO	2 HILADAS 2 MURFOR RND.4/E-50 mm	3,00x0,80x0,115
MURO 23 (3Z1NV)	LADRILLO	1 HILADA 1 MURFOR RND.4/N-50 mm	3,00x0,80x0,115
MURO 24 (3Z3NV)	LADRILLO	3 HILADAS 3 MURFOR RND.4/N-50 mm	3,00x0,80x0,115

#### SISTEMA DE APLICACION DE CARGAS:

Los muros se han ensayado a los 28 días.

Para la aplicación de las cargas en los muros a flexión vertical, se ha dispuesto la carga concentrada en dos puntos situados a 1/3 de la luz. La separación entre apoyos es de 2,70m, y las cargas se han aplicado a 0,90m de los apoyos.

Exceptuando la influencia del peso propio, relativamente pequeña en comparación con la carga soportada, se puede considerar que se trata de muros exclusivamente sometidos a flexión. Esta solicitación además de ser bastante desfavorable para el muro, permite una comparación cómoda entre los diferentes elementos, ya que existe una zona amplia en la que se produce máximo momento, que con una carga uniformemente repartida esta zona se limitaría a un punto.

Por otra parte, a nivel del ensayo en laboratorio, dificulta el recurrir a carga uniformemente repartida ya que es difícil que una viga de reparto se apoye en todos los puntos del muro.



**GATOS:** En la realización de los ensayos a flexión vertical se han empleado uno o dos gatos hidráulicos, de distinta capacidad de carga, según los casos.

#### INSTRUMENTACION:

**EXTENSOMETROS MECANICOS:** Se han utilizado extensómetros mecánicos DEMEC de 200 mm de base de medida, con una precisión de  $\pm 6 \times 10^{-5}$  mm. Estos aparatos miden microdeformaciones que permiten obtener posteriormente pequeños movimientos horizontales.

**RELOJES COMPARADORES O FLEXIMETROS:** La resolución del aparato utilizado es de centésima de milímetro. Permiten medir pequeños movimientos verticales. Se han colocados en los apoyos para controlar que permanecen fijos, o en caso contrario, tenerlo en cuenta a la hora de determinar la flecha en el centro de la luz.

**TRANSDUCTORES DE DEFORMACION:** Para la medida de deformaciones se han utilizado bandas de extensometría óhmica de 10mm de base de medida. Las bandas eran de lámina impresa sobre soporte de poliéster.

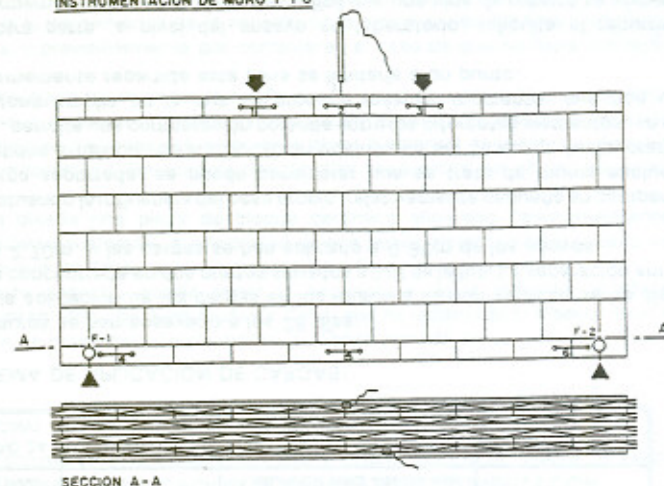
La conexión de las bandas se realizó en la configuración de 3 hilos para minimizar los efectos térmicos en las medidas. Cada galga se conectó a un módulo de acondicionamiento que completaba el circuito de medida.

Estas medidas de deformación permiten obtener la tensión a la que está trabajando la armadura.

**TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO:** La medida de flechas se ha obtenido mediante transductores inductivos de desplazamiento (LVDT) de  $\pm 250$  mm de rango.

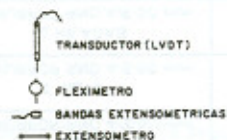
\* La geometría e instrumentación aplicada a los muros ensayados a flexión vertical, toma como referencia los ensayos realizados en Lovaina (12), y Bruselas (9) con lo que permite la correlación con otras investigaciones europeas sobre fábrica armada, y muestra la mayor amplitud de uso de la fábrica armada española, con relación a la de otros países europeos, expuesta en sus manuales, (7 y 8).

#### INSTRUMENTACION DE MURO 7 Y 8

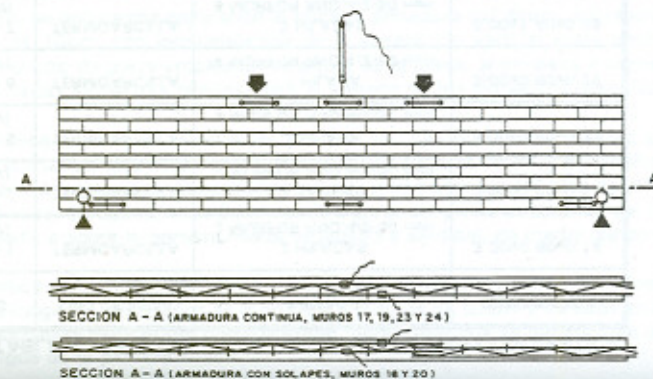


SECCION A - A

#### PUNTOS DE MEDIDA:



#### INSTRUMENTACION DE MUROS 17, 18, 19, 20, 23 Y 24



SECCION A - A (ARMADURA CONTINUA, MUROS 17, 19, 23 Y 24)

SECCION A - A (ARMADURA CON SOLAPES, MUROS 18 Y 20)

**6.- ENSAYO DE MUROS DE FABRICA ARMADA DE TERMOARCILLA:  
ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE DINTELES DE TERMOARCILLA.**

Se corresponden con la FASE 1 del plan referidas a las Tablas del Manual:  
"12A- Armado de Dinteles de Bloque Cerámico Aligerado, de 140mm de ancho" y  
"13B- Armado de dinteles de Bloque Cerámico Aligerado, de 290mm de ancho".

**RESULTADOS OBTENIDOS**

**TABLA II: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN VERTICAL, EN FÁBRICA ARMADA DE BLOQUES TERMOARCILLA.**

MURO	CARGA DE ROTURA (kp)	FLECHA POR CARGA DE ROTURA (mm)
M-1 (1PSV)	1400	18,91
M-2 (1PCV)	2950	19,53
M-3 (1PSW)(*)		
M-4 (1PCW)(**)		
M-5 (1GSV)	3770	2,49
M-6 (1GCV)	10155	10,55
M-7 (1GSW)	41730	8,08
M-8 (1GCW)	47280	8,56

(\*) Todavía no se ha realizado el ensayo

(\*\*) Vuelco del muro, en el 1er intento de realizar el ensayo

**ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE DINTELES DE TERMOARCILLA:**

Como ya se expuso al presentar el plan, esta investigación experimental no pretende ser concluyente desde un punto de vista estadístico, sino pulsar a grandes rasgos la viabilidad del cálculo tabulado. (Tomando como referencia esta investigación, ya se han preparado otras nuevas a desarrollar en el CEDEX, centradas en aspectos concretos y con el número suficiente de muestras para conocer determinados valores)

Por tanto, más que afinar con exactitud el resultado de cada tipo de ensayo, del que sólo tenemos una muestra, -(lo que por otra parte se hará cuando se disponga de los valores de tensión de las armaduras, y de los gráficos de tensión deformación de cada ensayo, al elaborar el informe final de la investigación)-, y para hacernos una idea del resultado obtenido, nos interesa saber a grandes rasgos, sobre qué orden de magnitud, los resultados experimentales sobrepasan los valores de cálculo publicados

Con este objeto, podemos establecer, circunstancialmente y con todas las reservas expuestas de falta de coincidencia entre carga repartida y carga aplicada a los dos tercios, una comparación entre los resultados de Carga de Rotura de los ensayos, y los valores tabulados obtenidos interpolando linealmente, expresado con un valor numérico aproximado al Coeficiente de seguridad real, "Cs aprox" en cada ensayo. Ello nos permite analizar y comparar los resultados de ensayo de cada dintel con sus variantes, dentro de un mismo material de fábrica y con un mismo margen de error, para establecer si se aprecia algún contraste de valor, digno de tener en cuenta. (Conviene dejar bien claro, que éstos valores numéricos tienen carácter comparativo y no absolutos, y son sólo válidos a efectos de un análisis comparativo conjunto).

- En los dinteles viga estrechos de termoarcilla, "Sin o Con" mortero en las llagas:

M-1 (PSV) "Cs aprox" = 1,26  
M-2 (PCV) "Cs aprox" = 2,65

Los valores son: bajo PSV, y ajustado PCV.  
No es aconsejable hacer dinteles estrechos de poco canto "Sin" mortero en llagas.

- En los dinteles viga gruesos de termoarcilla, "Sin o Con" mortero en las llagas:

M-5 (GSV) "Cs aprox" = 2,48  
M-6 (GCV) "Cs aprox" = 6,68

Los valores son: ajustado GSV, y excesivamente seguro GCV.  
Con un dintel viga grueso (muy armado), se pueden hacer dinteles de poco canto, ajustadamente "Sin" mortero en las llagas, y con mucha seguridad "Con" mortero.

- En los dinteles pared gruesos, "Con o Sin" mortero en las llagas:

M-7 (GSW) "Cs aprox" = 3,86  
M-8 (GCW) "Cs aprox" = 4,37

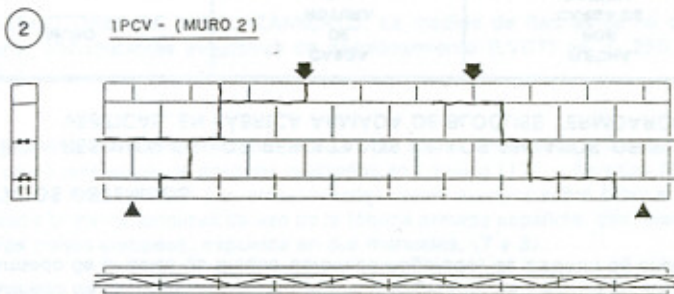
Los valores son: seguro para GSW y muy seguro para GCW.

En los dinteles gruesos de gran canto (y muy armados) con termoarcilla, no tiene gran incidencia en la resistencia, el que se construya "Con o Sin" mortero en las llagas.

En los dinteles de fábrica armada termoarcilla, en todos los casos la rotura se ha producido por cortante, agrietándose la fábrica siguiendo la línea diagonal entre un apoyo y la carga más próxima a él. En los casos en que no se ha dispuesto mortero en las llagas, esta línea seguía el escalonado de las juntas, por el contrario, si había mortero en la llaga, la diagonal partía las piezas. En ningún caso se ha llegado a la rotura por compresión en el sentido paralelo a los tendeles, en la zona central superior del dintel, ni a la rotura por agotamiento de la armadura, en la zona inferior.

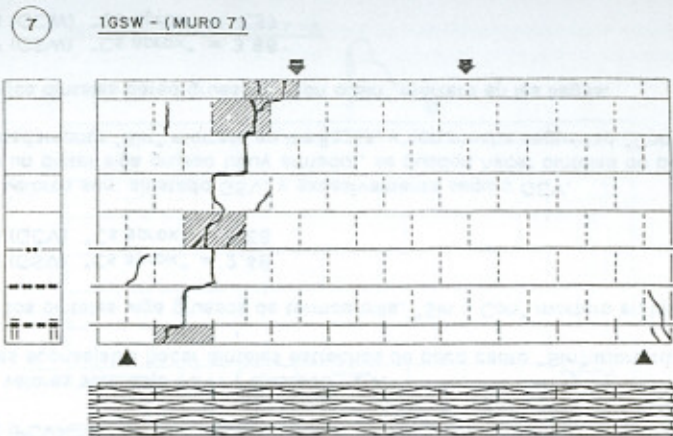
\* Sin perjuicio de hacer una investigación más profunda, cabe resumir que para dinteles de cantos 0,60m o menores, con piezas estrechas de termoarcilla, es necesario colocar mortero en las llagas. Para dinteles gruesos y armados, en especial los de gran canto, el hecho de colocar mortero en las llagas es menos significativo. Esto evidencia el buen comportamiento "en arco atirantado" de la fábrica armada.

En todos los casos el armado ha impedido la rotura fragil de la fábrica, llegándose hasta importantes deformaciones al final del ensayo, sin desprendimiento de las piezas colgadas. (A ésto último habrán contribuido los correspondientes ganchos).



FISURAS

Esquema de fisuras en el muro 2.



FISURAS

APLASTAMIENTO DE PIEZAS

Esquema de fisuras en el muro 7.



Sistema de carga en el muro 7.

**7.- ENSAYO DE MUROS DE FABRICA ARMADA DE LADRILLO:  
ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE DINTELES DE LADRILLO.**

Se corresponde con la FASE 3 del plan y toma como referencia la Tabla "9A-Armado de Dinteles de fábrica de Ladrillo Cerámico Perforado de 115mm de ancho", del Manual Murfor.

**RESULTADOS OBTENIDOS**

**TABLA III: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN VERTICAL, EN FABRICA ARMADA DE LADRILLO PERFORADO.**

MURO	CARGA DE ROTURA (kp)	FLECHA POR CARGA DE ROTURA (mm)
M-17 (3ZNV)	5262	11,55
M-18 (3ZRV)	4205	8,51
M-19 (3ENV)	6190	10,70
M-20 (3ERV)	4439	7,05
M-21 (EZNW)(*)		
M-22 (3ZRW)(*)		
M-23 (3Z1NV)	4457	11,76
M-24 (3Z3NV)	9543	11,80

(\*) Todavía no se ha realizado el ensayo.

**ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE DINTELES DE LADRILLO**

Haciendo con los dinteles de ladrillo, un análisis equivalente al expuesto en la termoarcilla, mediante el Coeficiente de seguridad real aproximado, "Cs aprox", podremos analizar el comportamiento y la influencia de las variables aplicadas.

-En los dinteles viga, con armaduras "normal o solapada" galvanizadas:

M-17 (ZNV) "Cs aprox" = 4,60

M-18 (ZRV) "Cs aprox" = 3,68

Los valores son: muy seguro para ZNV y seguro para ZRV.

La longitud de solape de 15cm de las armaduras galvanizadas, han podido suponer una ligera disminución de resistencia, aunque en ello sin duda ha influido también el haber utilizado un mortero de menor resistencia, ya que dió en el ensayo 66 Kp/cm<sup>2</sup>.

-En los dinteles viga, con armaduras "normal o solapada" con capa epoxi:

M-19 (ENV) "Cs aprox" = 5,41

M-20 (ERV) "Cs aprox" = 3,88

Los valores son: muy seguro para ENV y seguro para ZRV.

La longitud de solape de 25cm de las armaduras con capa epoxi, evidencian una disminución de resistencia en el ensayo, mayor que en el caso del zinc. Sin embargo, ésta diferencia no es solamente imputable a la longitud de solape, sino a que en este caso se está estableciendo la comparación con la carga más alta, de las obtenidas en estas cuatro probetas similares, lo que dificulta saber el grado de influencia.

\* Si sacamos el valor medio de las cargas de rotura de los cuatro dinteles viga de fábrica armada de ladrillo precedentes, donde intervienen dos tipos de armaduras con sus tratamientos de protección frente a la corrosión y las longitudes de solape apropiadas en cada caso, obtendremos un supuesto valor medio de 4,39 referido a la seguridad, que podemos considerar muy seguro.

- En los dinteles viga, con "1" y "3" armaduras Murfor, en vez de dos:

M-23 (Z1NV) "Cs aprox" = 3,90

M-24 (Z3NV) "Cs aprox" = 8,35

Los valores son: seguro para la Z1NV y extremadamente conservador para Z3NV. El ensayo hecho con "3" armaduras en vez de las dos que recomienda el Manual, evidencia al igual que los demás hechos con ladrillo perforado, que cuando el material de fábrica es bastante homogéneo y resistente, con una separación de tendeles muy próxima, como en el caso de este ladrillo, se pueden incrementar notablemente las cualidades técnicas del material compuesto fábrica armada.

Por el contrario, si se disminuye el armado estipulado en el Manual, como en el ensayo con "1" armadura, los valores de anteriores no bajan excesivamente, pero se llega a la rotura de la armadura, con el peligro consiguiente de caída del dintel.

Por lo tanto, no se aconseja armar menos que lo estipulado, ya que pueden existir problemas de resistencia del mortero, o solapes, que no se adapten a la elevada tensión de trabajo a que se ve sometida la armadura en estas circunstancias (Nota).

Nota: En la transmisión de los esfuerzos de las armaduras solapadas (donde contribuye significativamente el alambre diagonal de la armadura junto con la soldadura entre alambres, además de su corrugado), tiene mucha importancia, para una determinada longitud de solape, la resistencia del tipo de mortero empleado, de ahí que se recomiende utilizar como mínimo un mortero M-80 en la fábrica armada. El Estudio (II), expone la investigación que se lleva a cabo sobre estos aspectos.

En los ensayos a flexión de los muros de fábrica armada de ladrillo, la fisuración previa a la rotura, ha aparecido bastante centrada y vertical en las probetas, sin manifestarse grandes brusquedades. Como casos extremos, el dintel con "1" armadura, es el único en que se ha partido verticalmente en dos el muro al agotar el acero, mientras que el de "3" armaduras ha agotado la fábrica en la zona comprimida.

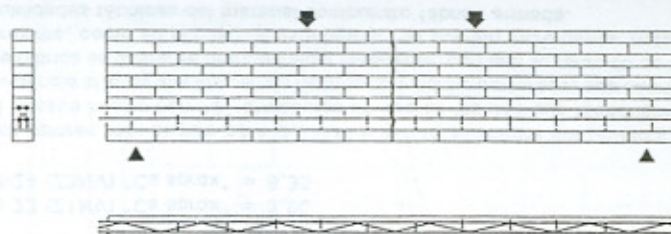
En todos los casos el armado ha impedido la rotura frágil de la fábrica (exceptuando el de "1" armadura donde se pretendía conseguirlo), llegándose hasta importantes deformaciones al final del ensayo. En ningún caso ha habido desprendimiento de las piezas colgadas, sujetas con los ganchos.

Los ensayos realizados con "1" y "2" armaduras ponen de manifiesto la particularidad del "material compuesto" "fábrica armada", donde los "saltos" propios de técnica constructiva de la albañilería, con tendeles a nivel separados verticalmente en función del alto de las piezas empleadas, obliga a saltar por "cuantos" (armaduras) las posibilidades de armado de la fábrica, y por tanto los coeficientes de seguridad obtenidos, siendo más elevados cuando las piezas son más gruesas. (Para paliar en parte este problema, las armaduras a emplear pueden ser de distinta sección, (emplenado alambres de 4 ó 5 mm de diámetro).

En definitiva, en determinados casos, aunque se quiera afinar el cálculo, si no se tiene en cuenta la técnica constructiva que permita llevarlo a la práctica, en relación a las características resistentes, tamaño y forma del material empleado, podría darse la imposibilidad de ajustar la teoría adecuadamente a la práctica constructiva.

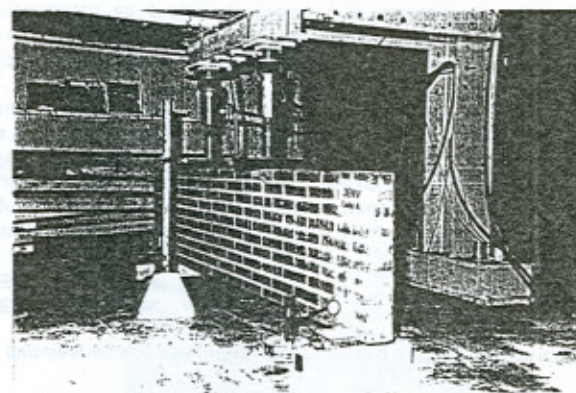
19

3 ENV - (MURO 19)



FISURAS

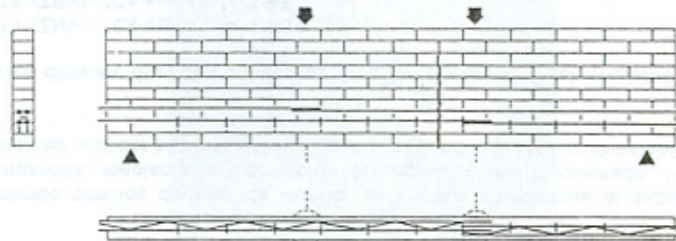
Esquema de fisuras en el muro 19.



Disposición del sistema de carga del muro 19.

20

3 ERV - (MURO 20)



FISURAS

Esquema de fisuras en el muro 20.

## 8. AVANCE DE CONCLUSIONES

Si bien no es posible adelantar conclusiones, en un tipo de investigación como la planteada, todavía sin terminar, y donde no se ensayan suficientes probetas de cada tipo, para poder ser concluyente en determinados aspectos, sí pueden adelantarse unas observaciones de carácter general sobre el comportamiento de la fábrica armada Murfor, con los materiales cerámicos españoles.

Cuando se acabe ésta investigación, y se tengan las tensiones de las armaduras y los gráficos de tensión-deformación, reflejados en el correspondiente informe, se tendrán más datos para ofrecer conclusiones más fundadas.

En su conjunto, los objetivos planteados se están cumpliendo, exceptuando algunos matices sobre el tratamiento de la junta, en dinteles termoarcilla de poco canto.

\* Los ensayos realizados, realmente habría que compararlos con los de éstas mismas fábricas pero sin armar, para comprender el gran incremento de prestaciones que ofrece la fábrica armada, frente a la fábrica tradicional, y entender sus posibilidades arquitectónicas, obtenidas al mismo tiempo que se controla la fisuración (3, 5 y 10).

Involuntariamente, puede darse el caso de querer comparar las cualidades resistentes de unos materiales con otros, como si ello fuera el objetivo de la investigación, cuando muy al contrario, lo importante es incrementar las posibilidades técnicas de unos materiales determinados, que destacan por unas cualidades específicas que los hacen idóneamente aplicables a campos muy distintos. En este sentido, la fábrica armada está lejos de competir, por sus cualidades resistentes, propiedades de sus materiales y técnica de albañilería, con el hormigón armado, con el cual se tiene la tendencia de comparar, dada la relación de cálculo establecida.

### EN LA FABRICA ARMADA SOMETIDA A FLEXION VERTICAL SE OBSERVA QUE:

- 1.- En su conjunto, el comportamiento a flexión vertical de la fábrica armada Murfor, en combinación con los materiales cerámicos españoles, Ladrillo Cerámico Perforado y Bloque Cerámico Aligeado Termoarcilla, es bueno, superándose con seguridad los cálculos tabulados en el Manual Murfor.
  - 2.- Respecto a la fábrica armada con Termoarcilla, su comportamiento es bueno, aunque se aconseja construir los dinteles estrechos y de poco canto, (hasta 60cm), con mortero en las llagas.
  - 3.- Respecto a la fábrica armada con Ladrillo, su comportamiento es muy bueno. No se plantea ninguna restricción respecto a lo tabulado en el Manual Murfor.
- \*.- El estudio en su conjunto, revela el buen comportamiento de los materiales ensayados, dentro de los márgenes de seguridad establecidos por el cálculo.

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA FABRICA ARMADA CON MATERIALES CERAMICOS (II).- ENSAYOS DE ADHERENCIA

Adell Argilés, J.M. Dr. Arquitecto. Prof. Titular Depto. Construc.y Tecn. Arq. ETSAM  
Lasheras Merino F. Dr. Arquitecto. Prof. Titular Depto. Construc.y Tecn. Arq. ETSAM  
Soler Severino M. Arquitecto Prof. Depto. Construcción y Tecnología Arquitect. ETSAM  
Realización de los ensayos en el ICC E. TORROJA  
López Hombrados, C. Ing. Caminos Jefe U.E.I. Ensayo de Materiales Inst.E. TORROJA

### 1.- INTRODUCCION

Este Estudio (II) se ha realizado en el marco del convenio: "Ensayos sobre muros de fábrica armada con ladrillos cerámicos y bloques cerámicos aligerados", de mayo de 1993, firmado entre el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, Hispalyt, N.V. Bekaert, S.A., y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del MOPTMA.

Estos ensayos se inscriben dentro la Nueva Línea de Investigación: "Las fábricas, su comportamiento físico y mecánico", abierta en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM, en diciembre del 92, y dirigida por el Profesor J.M. Adell. Este proyecto concreto se denomina: "La fábrica armada con materiales cerámicos y armaduras prefabricadas para tendeles".

La investigación consta de un amplio programa de ensayos, con cinco fases. Las cuatro primeras corresponden al CEDEX, constituyendo el Estudio (I) previo. La quinta fase, sobre ensayos de Adherencia que aquí se expone, constituye el Estudio (II), coordinado por el Profesor Félix Lasheras, que se ha elaborado en el Laboratorio de Materiales de la ETSAM y ensayado en el Instituto E. TORROJA.

Parte de este estudio, a constituido el trabajo de curso de las Asignaturas de Doctorado "La Arquitectura de Ladrillo", impartida por el profesor Adell y "Técnicas Experimentales" impartida por el profesor Lasheras, dentro del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM, de los alumnos: M. de Goicoechea de la Quadra-Salcedo, J.M. Rubio Rodríguez y J. Soler Severino.

Con el fin de estudiar en profundidad la Adherencia, cuando se utilizan armaduras de tendel tipo cercha, ampliando la investigación a los diversos materiales que pueden intervenir en el "material compuesto-fábrica armada", se ha conseguido una financiación de la Universidad Politécnica de Madrid, -Acciones Concertadas del año 1993-, para desarrollar el Proyecto de Investigación: "Determinación de la Tensión de Adherencia en la Fábrica Armada", cuyo Investigador Principal es el profesor J.M. Adell. Algunos de los datos que aquí se exponen, se han obtenido en esta investigación que actualmente se desarrolla.

## 2.- OBJETIVOS

### Objetivos del Estudio (II).

Los objetivos que se plantean, constituyen una primera aproximación, al conocimiento sobre el grado de influencia que tienen los diversos componentes de la fábrica armada, en la adherencia que mantienen entre ellos, en función de las habituales variantes que concurren en obra.

Se trata de comprobar sí, cumpliéndose la longitud de anclaje especificada para las armaduras Murfor (en el Manual de aplicación del fabricante), a ambos extremos del apoyo de un dintel, ésta longitud de anclaje sigue siendo suficiente, al sumarse determinadas variaciones de obra, tales como:

- Variaciones en las cualidades superficiales de las piezas.
- Variaciones en la humedad con que se colocan las piezas por el albañil.
- Variaciones en la resistencia del mortero de obra dosificado en volumen.
- Variaciones en el tratamiento anticorrosión que tenga la armadura utilizada.

## 3.- CARACTERISTICAS DE LAS PROBETAS

Las probetas ensayadas corresponden a las expuestas en la FASE 5: ENSAYOS DE ADHERENCIA ENTRE EL MORTERO, EL LADRILLO Y LA ARMADURA MURFOR.

Se estudia esta fase en probetas de 2 hiladas de ladrillo tipo "sandwich", de 490mm de largo x 110mm de alto x 115mm de ancho, con una armadura Murfor dispuesta en el tendel central, de 50mm de ancho.

### Variables planteadas:

- Piezas lisas (Ladrillo Macizo), o con huecos en tabla (Ladrillo Perforado).
- Ladrillos Humedecidos antes de colocarlos en obra o sentados Sin humedecer
- Mortero m-80 obtenido con proporción 1:4 o Mortero M-160 proporción 1:3.
- Armaduras Murfor con recubrimiento de Zinc, o capa Epoxi RND.4/ - 50mm.
- 1.a A LADRILLO MACIZO SIN CAZOLETA 240X115X52mm (\*)
- 1.b B LADRILLO PERFORADO, HUECOS/TABLA 240X115X52mm (\*)
- 2.a H HUMEDECIDO (\*\*)
- 2.b Y SIN HUMEDECER
- 3.a m MORTERO M-80 (1:4)(Tendel constante 10-12mm) (\*\*\*)
- 3.b M MORTERO M-160 (1:3)(Tendel constante 10-12mm) (\*\*\*)
- 4.a E ARMADURA RND.4/Epoxi 50mm (\*\*\*\*)
- 4.b Z ARMADURA RND.4/Zinc 50mm (\*\*\*\*)

Total: 16 probetas distintas a ensayar en la fase 5.

### Tipos de probetas:

5AHmE 5AHmZ 5AHME 5AHMZ 5AYmE 5AYmZ 5AYME 5AYMZ  
5BHmE 5BHmZ 5BHME 5BHMZ 5BYmE 5BYmZ 5BYME 5BYMZ

- (\*) Los ladrillos cerámicos empleados son:
  - Tipo A, prensado, macizo y liso, sin cazoleta.
  - Tipo B, extrusionado y perforado, con dos filas de agujeros.
 Ambos son del mismo tipo de arcilla y del mismo fabricante (Malpesa).
- (\*\*) Los ladrillos se humedecieron sumergiéndolos 5 minutos en agua. Se partieron muestras para verificar la profundidad del embebido:
  - En los ladrillos macizos el agua entraba casi 2cm.
  - En los perforados el agua los había embebido totalmente.
- (\*\*\*) El mortero se ha dosificado en volumen, como se haría en obra, siguiendo la tabla 3.5 = Dosificación de morteros tipo, de la FL-90 (13).
  - M-80 a) = 1 parte de cemento II 35Z, por 4 de arena.
  - M-160 a) = 1 parte de cemento II 35Z, por 3 de arena.
- (\*\*\*\*) El acero de las armaduras está protegido contra la corrosión mediante un galvanizado (gris), o con una capa epoxi (verde) sobre el zinc.

Las armaduras de tendel están reguladas por la norma CEN- preEN 845-3: "Specifications for ancillary components for masonry. - Part 3: Bed joint reinforcement"(14).

Las armaduras de tendel se contemplan en el EC-6 "Estructuras de fábrica", aprobado en Helsinki en junio de 1994 (16). Cumplen con las especificaciones de la EH-91. El límite elástico garantizado de 500 N/mm<sup>2</sup>, y la carga unitaria mínima de 550N/mm<sup>2</sup>.

Las armaduras Murfor, están prefabricadas con dos alambres longitudinales separados y soldados entre sí, mediante otro diagonal en zig-zag soldado en su mismo plano, de manera que conforma una cercha triangulada indeformable, cuyo grueso total no sobrepasa el de los dos alambres longitudinales.

Las armaduras Murfor empleadas eran todas del mismo ancho de 50mm (separación total entre alambres longitudinales). Los alambres longitudinales eran redondos "RND" con un diámetro de 4mm y el diagonal de 3,75mm.

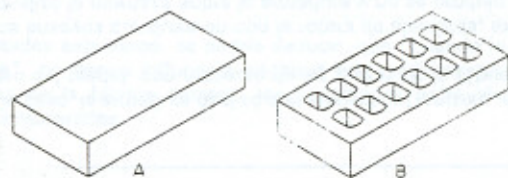
Se usaron armaduras de dos tipos de protección frente a la corrosión, Zinc, /Z, y zinc con capa Epoxi, /E, denominadas respectivamente RND.4/Z-50mm y RND.4/E-50mm.

La armadura se colocó centrada en el ancho del tendel, con un recubrimiento de mortero de 32,5mm por cada lado, respecto de los paramentos hechos con llaga enrasada, y de unos 4mm de mortero, por arriba y por debajo de los alambres.

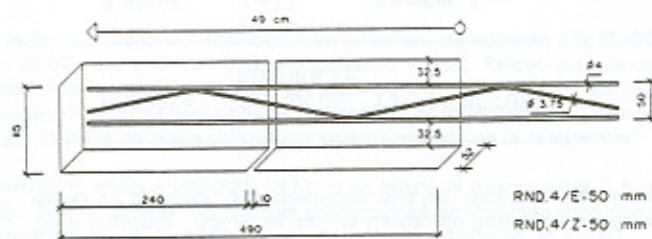
Además, respecto del zig-zag del alambre diagonal, la armadura también se colocó centrada, de manera que ambos alambres tuvieran una soldadura dentro del mortero, con una longitud de anclaje de 2 pies, de ladrillo métrico, equivalentes a 49cm.

La armadura sobresalía por un lado unos 15cm, lo suficiente para poder tirar de ella. Para evitar que pudiera escurrirse de la mordaza durante el ensayo, antes de colocarla en la probeta se le había practicado un dobléz de 90°, en la punta del extremo a traccionar, para impedir su deslizamiento a través de la mordaza.

Nota: Las probetas se construyeron en el Laboratorio de Materiales de la ETSAM, y se llevaron a ensayar, a los 28 días, al Instituto Eduardo TORROJA.



TIPOS DE LADRILLO EMPLEADOS



PROBETA TIPO "SANDWICH"  
(Estudio III) Fase 5)

#### 4.- DESCRIPCION DEL ENSAYO

En el Estudio (II) llevado a cabo entre la ETSAM y el TORROJA, se han ensayado 16 probetas de fábrica armada de ladrillo.

Para poder realizar los ensayos hubo que recurrir a diseñar y fabricar, con la colaboración de un mecánico especializado, el útil adecuado para realizarlo.

Los criterios empleados para diseñar el útil, se tomaron de la norma CEN prEN 846-2, "Methods of Test for ancillary components for masonry - Part 2: Determination of bond strength of bed joint reinforcement in mortar joints" (15).

Las probetas se ensayaron una a una, con el útil fabricado al efecto. Su diseño permite ejercer la acción de tracción por el extremo saliente de la armadura, de tal manera que la reacción del gato empleado para ello, se aplica sobre los ladrillos de ese mismo lado del "sandwich" de fábrica.

El útil empleado, tiene en la parte donde hace reacción el gato, una ranura central lo suficientemente ancha para permitir escurrirse a la armadura, sólo, o arrastrando consigo todo el grueso del tendel de mortero, de 10 ó 12mm.

La fuerza se aplicó con un gato ENERPAC, accionado por una fuente hidráulica AMSLER. La carga máxima capaz de aplicar este equipo era de 3.500 Kp.

La transmisión de la carga se logra a través de una mordaza que aprieta la armadura y tira de ella. Para impedir el deslizamiento de los alambres a través de la mordaza, se practicó un dobléz en la punta del extremo de la armadura.

En el momento del ensayo, la carga vertical actuante a la altura del tendel de mortero de la armadura, era de 0,05Kp/cm<sup>2</sup>, aplicada por el peso de la altura de fábrica de 6 hiladas de ladrillo, de acuerdo con la tipificación europea del ensayo (15).

La fuerza de tracción de la armadura se aplicó de manera continua, deteniéndose en 1.750 Kp para reapretar la mordaza.



## 5.- RESULTADO DE LOS ENSAYOS

En la siguiente TABLA, se dan las Cargas de Rotura de los alambres de las 16 probetas. Se especifican, él o los, alambres que se rompieron.

PROBETA	CARGA DE ROTURA Kp	TIPO DE ROTURA
5 AHmE	2.422	Alambre 1
5 AHmZ	2.527	Alambre 1
5 AHME	2.314	Alambre 1
5 AHMZ	2.597	Alambre 3
5 AYmE	2.394	Alambre 1
5 AYmZ	2.485	Alambre 1
5 AYME	2.447	Alambres 1 y 3
5 AYMZ	2.636	Alambre 1
5 BHmE	2.387	Alambre 1
5 BHmZ	2.391	Alambre 3
5 BHME	2.450	Alambre 3
5 BHMZ	2.622	Alambres 1 y 3
5 BYmE	2.762	Desliza Mordaza
5 BYmZ	2.450	Alambre 1
5 BYME	2.916	Alambres 1, 2 y 3
5 BYMZ	2.510	Alambres 1 y 3

En ningún caso, la armadura deslizó con respecto al mortero, ni la armadura junto con el mortero del tendel, con respecto de las piezas de la fábrica.

Todos los ensayos concluyeron con la rotura de alambres, excepto en un caso en el que se deslizó la mordaza sobre la armadura y no se produjo rotura, (a pesar de que la fuerza aplicada fué la segunda más elevada).

En ninguna de las probetas, se produjo la rotura de la soldadura del trenzado de los alambres, de la armadura prefabricada en forma de cercha, tipo Murfor.

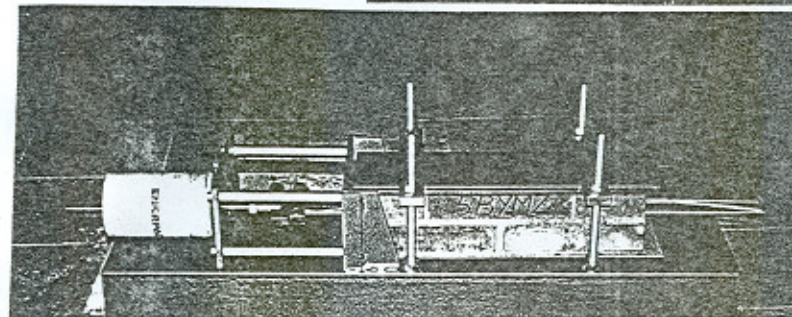
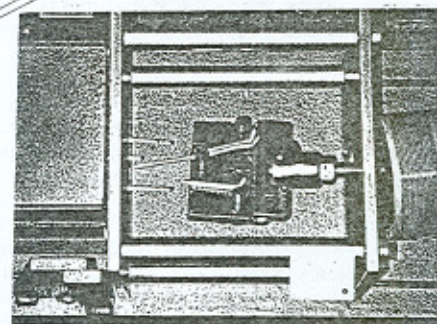
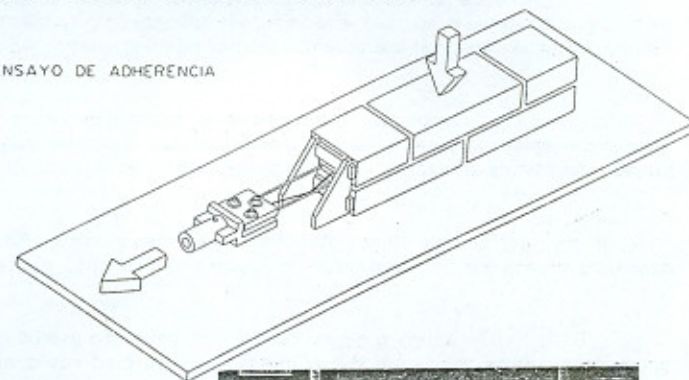
Puesto que todas las probetas se habían hecho colocando la armadura centrada en el tendel, con una de las soldaduras de cada alambre longitudinal, embebida en mortero, resulta que el extremo saliente del armado, en todas las probetas era de la misma forma, de manera que la mordaza cogía a todas las armaduras, en la misma posición relativa respecto del trenzado de alambre.

Se numeraron los alambres salientes del tendel, con "1", "2" y "3", correspondiendo el "1" al alambre que sobresalía aparentemente suelto, el "2" al central, y el "3" al que se veía soldado con el central.

Se pone en evidencia la importante colaboración del alambre diagonal, en el trabajo solidario con los alambres longitudinales de la armadura, al ser continuo y estar soldado con firmeza a ellos, La armadura Murfor adquiere con ello un incremento de tensión, añadida a la de los dos alambres longitudinales.

En todos los casos, el ensayo culminó con la rotura de la armadura (excepto uno). De los 16 ensayos, en 11 casos se ha partido un alambre sólo, en 3 casos se han roto dos alambres a la vez, en 1 caso los tres al mismo tiempo, y en 1 caso deslizó la armadura a través de la mordaza sin llegar a romperse.

UTIL DEL ENSAYO DE ADHERENCIA



## 6.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Es necesario realizar ensayos de este tipo, por cuanto no son de aplicación las referencias que puedan tomarse con el hormigón, al no estar tipificadas las compatibilidades entre este tipo de acero (de alta resistencia) con los morteros, de relativa baja resistencia.

Por otra parte, la forma del trenzado del alambre, constituyendo una cercha gracias al zig-zag del alambre diagonal, genera un efecto de confinamiento del mortero entre el triangulado, que se sumada de forma muy efectiva con el tratamiento corrugado de los alambres permite adquirir gran adherencia a la armadura Murfor dentro del tendel.

De los resultados expuestos, se podría deducir, que "cuando la longitud de anclaje es suficiente", no tienen influencia negativa en la adherencia, entre los diversos componentes de la fábrica armada, las variaciones habituales en obra para los supuestos considerados.

Es decir:

- ni el acabado superficial de pieza empleada,
- ni la humedad del ladrillo,
- ni la resistencia del tipo de mortero empleado (?)
- ni la clase de protección de la armadura.

Puesto que en ningún caso ha habido pérdida de adherencia, los ensayos se parecen más a ensayos de Carga de Rotura de la armadura Murfor RND.4/-50mm. La Carga de Rotura media es de 2.519 kp. (La resistencia característica 2.263,92 Kp)

Si bien los ensayos se plantearon con toda objetividad, hay una circunstancia que ofrece dudas y conviene estudiar. Es la referente a los tipos de mortero empleado (?). ¿Cuáles son realmente las resistencias de los morteros que se han empleado?

Los ensayos realizados de las probetas de mortero, hechas cuando se prepararon las probetas "sandwich" de fábrica, dieron resistencias bastante más elevadas de las prevista.

Los morteros escogidos, se dosificaron en volumen, de acuerdo a la FL-90 (13). Es decir, M-80 1:4, y M-160 1:3 con cemento II 35Z. Releyendo nuevamente la presentación de la tabla 3.5 dice "se expresan a título orientativo, valores de diferentes dosificaciones para obtener resistencias de morteros tipo. Debe tenerse en cuenta que la clase de arena influye considerablemente en la resistencia"

Si se observa la antigua MV-201/1972, y se busca la misma tabla 3.5, podemos comprobar que se ofrecen las mismas proporciones en volumen pero con una muy significativa diferencia, que el cemento de la tabla antigua es un P-250.

Es evidente que las resistencias del mortero obtenidas, no sólo están influenciadas por el tipo de arena, sino lo que es más significativo, por el tipo de cemento.

Difícilmente con un aumento substancial en la resistencia de éste, puede mantenerse una misma resistencia de los morteros, manteniendo las mismas proporciones.

A la vista de los resultados obtenidos, se buscó más información, y se encontró un estudio de J. Lauherta y G.J. Monteverde "Estudio teórico experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábrica de ladrillo, para la actualización de la norma MV-201-72", publicado en la revista "Materiales de Construcción" en 1984, volumen 34 n° 136, que sin duda no debieron de haberse tenido en cuenta, en la redacción de la nueva norma, NBE FL-90 (13).

## 7.- OBSERVACIONES DERIVADAS DE LA NUEVA INVESTIGACION

Conscientes de la importancia de la resistencia del mortero en la adherencia, se ha iniciado una nueva investigación, ampliada a los diversos tipos de materiales de fábrica, utilizando los morteros más apropiados a cada caso.

Para esta nueva investigación, se cuenta con la colaboración de una Agrupación nacional de fabricantes de morteros preparados, para investigar con un sentido práctico de aplicación a la construcción, y con los correspondientes garantías de calidad de los componentes empleados, es decir resistencias de morteros certificadas y comprobadas, para cada tipo de ensayo de adherencia.

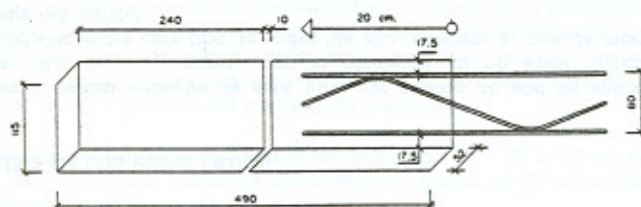
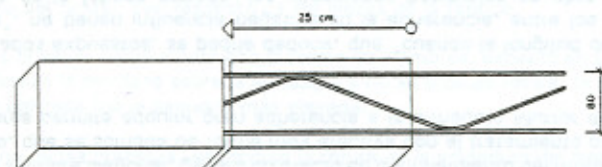
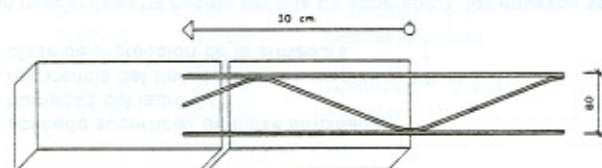
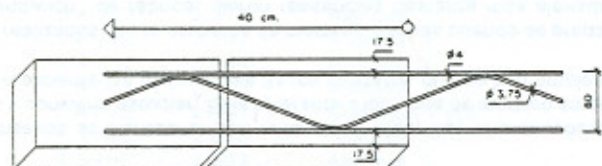
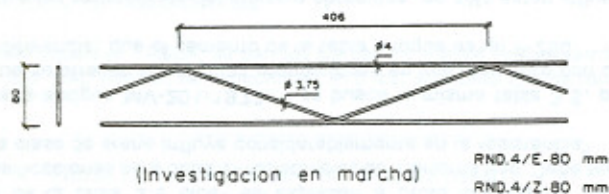
Los primeros ensayos hechos con este nuevo enfoque, plantean situaciones parecidas a las llevadas a cabo en los ensayos realizados en Leuven, y en los Laboratorios BCRA de Bélgica, para determinar la longitud de anclaje requerida en las armaduras Murfor. Estos ensayos de 1980, demuestran que utilizando un mortero 1:5, hecho con un cemento C-300, son suficientes 150mm de longitud de solape con las armaduras de recubiertas de Zinc, y 200mm con las de capa Epoxi.

Por otra parte, ensayos equivalentes, publicados en el Documento BSI Standars 93/101529, del Reino Unido, como borrador a los comentarios sobre la prEN 846-2, empleando armaduras Murfor RND.4/ -60mm, concluyen que las longitudes de anclaje, utilizando un mortero (ii), de proporciones 1:4<sup>1/2</sup>, hecho con cemento Portland, que da una resistencia de 120 Kp/cm<sup>2</sup>, las longitudes de anclaje obtenidas son de 200mm para Zinc, y de 300mm para Epoxi.

Los primera serie de ensayos realizados en esta nueva fase, con probetas tipo "sandwich", empleando los morteros de 50, 75, 100 y 125 Kp/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a lo fijado en el EC-6, y con longitudes de anclaje de 20, 25, 30, y 40cm, con armaduras Murfor RND.4/Z-80mm, ofrecen una longitud de anclaje de 25cm con un mortero de 75 Kp/cm<sup>2</sup>, dando una tensión de rotura del alambre de 1950 Kp.

También se ha podido observar, que la carga de rotura de las armaduras empleadas en las diversas investigaciones, no depende solamente de la sección de los alambres, sino también del ancho total de la armadura Murfor, ya que influye en ello el ángulo con que se tracciona el alambre diagonal. Dan mayor carga de rotura las armaduras estrechas (con menor ángulo) que las más anchas, al solicitarlas a tracción.

## TIPOS DE ARMADURAS MURFOR



LONGITUDES DE ANCLAJE  
(Investigacion en marcha)

## 8.- CONCLUSIONES

1.- Del estudio (II) sobre adherencia, se puede observar que, cuando la longitud de anclaje es mayor que el mínimo requerido, no tienen incidencia negativa en la adherencia entre los diversos componentes de la fábrica armada, las variaciones planteadas en obra entre sus componentes, tales como:

- el tipo de pieza cerámica
- la humedad de las piezas,
- la resistencia del mortero,
- el tratamiento de la armadura.

La investigación también refleja, la importancia que tiene en la transmisión de los esfuerzos en la fábrica armada, la resistencia mínima que ha de tener el mortero, por estar directamente relacionada con las longitudes de anclaje mínimas de las armaduras (y consiguientemente con las longitudes de los solapes).

2.- Del Estudio (II) y de la nueva investigación sobre adherencia iniciada, puede deducirse, que si el mortero es más rico en cemento del mínimo estipulado en el Manual (M-80), las longitudes de anclaje podrían reducirse, mientras que por el contrario, éstas longitudes sería necesario aumentarlas si se quisiera utilizar un mortero menos rico, lo que no se recomienda.

(El Manual Murfor español especifica: 50cm como longitud de anclaje en dinteles con zinc o epoxi, y para solapes entre armaduras; 15cm en zinc, 25cm en epoxi.)

Sobre la determinación de las longitudes mínimas de anclaje, en función del tipo de armadura utilizada, y tipo de mortero empleado, no es posible sacar conclusiones, hasta terminar la nueva investigación iniciada con este fin.

#### \*.- BIBLIOGRAFIA

- (1)  
EL MURO DE LADRILLO: LOS MATERIALES CERAMICOS Y LA FABRICA ARMADA  
J.M. Adell (y otros)  
Hispalyt: Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida  
Madrid, Junio de 1992. Pag. 115-145.
- (2)  
MANUAL MURFOR: LA FABRICA ARMADA  
J.M. Adell y J.A. Lahuerta  
Bekaert Ibérica. Barcelona Junio 1992. Pag 1-125.
- (3)  
THE ARCHITECTURAL POTENTIAL OF BED JOINT REINFORCED MASONRY  
J.M. Adell  
Universidad Politécnica de Madrid-Escuela T.S. de Arquitectura  
Proceedings of the 3rd International Masonry Conference  
Londres, 26-27 de Octubre de 1992. Pag. 259-262.
- (4)  
RAZON Y SER DE LA FABRICA ARMADA Y  
ARQUITECTURA E INVESTIGACION CON FABRICA ARMADA  
J.M. Adell  
Revista Informes de la Construcción N° 421.  
Revista del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.  
Madrid. Septiembre/ Octubre 1993
- (5)  
ARCHITECTURE AND RESEARCH WITH REINFORCED MASONRY  
J.M. Adell  
Universidad Politécnica de Madrid-Escuela T.S. de Arquitectura  
Proceedings 10th International Brick and Block Masonry Conference  
Calgary, Canadá 5-7 de Julio de 1994. Pag. 867-876.
- (6)  
SOBRE LA DENOMINACION DE: "LA FABRICA ARMADA"  
J.M. Adell  
II Congreso de Terminología de la Edificación: Comunicación.  
Valladolid 21-23 Octubre 1993.- 23 Páginas.
- (7)  
MANUAL MURFOR: REINFORCEMENT FOR MASONRY  
B. Haseltine, Jenkin & Potter Consulting Engineers  
Bekaert Reino Unido. Junio 1992. Pag 1-65.
- (8)  
MANUAL MURFOR: LA MURATURA ARMATA CON MURFOR  
G.M. Calvi  
Bekaert Italia. Enero 94 Pag 1-68.
- (9)  
MAÇONNERIE ARMEE  
O. Pfeffermann - P. Baty  
Centre Scientifique et Technique de la Construction  
Bruselas, 1981. Pag. 1-72.
- (10)  
USE OF MURFOR REINFORCED MASONRY TO PREVENT CRACKING PROBLEMS:  
25 YEARS EXPERIENCE.  
O. Pfeffermann. P. Timperman. B.A. Haseltine.  
10th. International brick and Block Masonry Conference  
Calgary, Canada, Julio de 1994. Pag. 679-687.
- (11)  
ENSAYOS DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL SOBRE FABRICAS EJECUTADAS CON  
BLOQUE TERMOARCILLA  
L. Villegas  
Fundación Leonardo Torres Quevedo y Grupo de Trabajo de Edificación.  
Santander, Septiembre 1992.
- (12)  
ENSAYOS A FLEXION PURA VERTICAL  
E. Vanmechelen  
K.U. Leuven Research & Development.  
Lovaina Belgica, Julio 1988.
- (13)  
NORMA BASICA DE LA EDIFICACION NBE FL-90  
Muros Resistentes de fábrica de ladrillo.  
MOPU 1990.
- (14)  
CEN-COMITE EUROPEEN DE NORMALISATION  
Prenorma EN: 845-3  
Specification for ancillary components for masonry  
Part. 3: Bed-Joint Reinforcement  
Bruselas, Agosto 1992. Pag. 1-18.
- (15)  
CEN-COMITE EUROPEEN DE NORMALISATION  
Prenorma EN: 846-2  
Methods of test for ancillary componests for masonry -  
Part 2: Determination of bond strength of bed joint reinforcement in mortar joints.  
Bruselas, Septiembre 1992. Pag. 1-12.
- (16)  
CEN-COMITE EUROPEEN NORMA. EC-6: DESIGN OF MASONRY STRUCTURES  
Part 1.1: General rules for buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry  
(Documento aprobado en Helsinki el 10/6/94)- CEN/TC 250/SC6/N67. Bruselas, 1994