



PROPUESTA DE PANELES PREFABRICADOS DE YESO ALIGERADO Y SIMULACIÓN DE SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO.

Jaime Santa Cruz Astorqui¹; Mercedes del Río Merino ².

1. Dpto. de Tecnología de la Edificación. E. U. Arquitectura Técnica. U. Politécnica. Avda. Juan de Herrera 6. 28040 Madrid. Tfno: 91 3367599; Fax: 91 3367637

2. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas y su Control. E. U. Arquitectura Técnica. U. Politécnica. Avda. Juan de Herrera 6. 28040 Madrid. Tfno: 91 3367596; Fax: 91 3367634

RESUMEN

Se presenta un bloque prefabricado de escayola aligerada para particiones interiores que mejora las características de los bloques de escayola comercializados en la actualidad en España, dentro de la categoría de tabiques de bloques de escayola (macizos o alveolados). Se presenta también el estudio realizado sobre el comportamiento mecánico del tabique formado por dichos bloques, mediante la simulación de los ensayos que recomienda el Instituto Eduardo Torroja, siguiendo las directrices comunes UEAtc para la apreciación técnica de tabiques ligeros (1973).

El bloque propuesto se constituye de forma análoga al de escayola, pero utilizando una escayola aligerada con corcho y reforzada con fibra de vidrio. Este material denominado yeso-corcho tiene unas ventajas evidentes en su aplicación a sistemas de partición, como son: una baja densidad (de 0,5 a 0,67 g/cm³) frente a la escayola (1g/cm³), una gran capacidad de deformación sin rotura, y una mejora sustancial del aislamiento acústico.

El bloque se diseña mediante una composición tipo sándwich, de tal forma que se utiliza un yeso-corcho de baja densidad como núcleo del bloque, reforzando las caras exteriores con un yeso corcho de mayor densidad y resistencia. Por último, se aplica en fábrica un enlucido de yeso de 2 mm como acabado superficial, por lo que en su puesta en obra únicamente se necesitará aplicar un tratamiento de juntas.

Esta composición tipo sándwich, además de conseguir aligerar el bloque, permite un buen comportamiento del tabique frente a las deformaciones propias de la estructura, así como un buen aislamiento acústico.

Para caracterizar el elemento, se realizan dos tipos de ensayos simulados mediante el programa ANSYS de cálculo por elementos finitos:

En primer lugar, ensayos sobre una muestra de tabique, realizado con los bloques propuestos de dimensiones 200x260x7 cm (ancho x alto x espesor): carga superficial, carga vertical excéntrica y choque blando.

En segundo lugar, una serie de ensayos comparativos sobre un paño de tabique con hueco de paso. Los tabiques simulados serán de dos tipos: tabique de bloques de escayola maciza de 7cm de espesor y tabique de bloques de yeso-corcho de 7cm de espesor.

Dichos ensayos consisten en la deformación de los tabiques debida a distintas hipótesis de deformación de la estructura donde se apoya, simulada mediante un pórtico rígido de hormigón armado a modo de bastidor, y considerando la unión entre ambos también rígida.

1.- Introducción

En España, al existir yeso en casi toda la geografía de la península, han proliferado muchas empresas que se dedican a la comercialización de sistemas prefabricados de yeso para particiones. En la actualidad se comercializan fundamentalmente dos tipos: el "sistema albañil", derivado de la forma de construir de los albañiles y yesaires, de larga tradición, y el "sistema carpintero", derivado de la forma de construir de los carpinteros, de más tradición en países como Estados Unidos, Francia, Alemania, etcétera.

Los paneles que se presentan, pertenecen al grupo denominado “sistema albañil”.

Las particiones realizadas con este sistema, suelen ser de una sola hoja, salvo en casos especiales como en las particiones de bloques técnicos.

En este sistema los elementos que constituyen las particiones pueden ser de dos tipos: elementos tipo placas de pequeño formato de dimensiones, generalmente, 66x50 cm, también denominadas bloques de escayola y elementos constituidos por paneles de altura suelo-techo.

Las ventajas fundamentales de estas particiones frente a la construcción tradicional son:

- Se mantiene, aunque con modificaciones, la tradición de albañiles y yesaires, tan arraigada en nuestro país. No necesita por tanto mano de obra especializada.
- Se mejoran los rendimientos de mano de obra, por lo que esta unidad de obra reduce costos; Son sistemas de construcción en seco; La unidad queda perfectamente terminada con el recibido de las placas o paneles, a falta únicamente del acabado final (pintura, papel, etcétera).
- Por ser piezas realizadas en taller se consiguen paños de gran planeidad pudiendo los acabados tener un mínimo poder cubriente (pintura lisa, etc.).

Los inconvenientes fundamentales de estas particiones frente a la construcción tradicional son:

- Cuanto mayores son los elementos (paneles suelo-techo), mayor peso por unidad de superficie, produciéndose más roturas y daños en el transporte y en la colocación.
- Cuanto mayor son los elementos, menor es el número de juntas/m², por tanto el sistema es más rígido y se adecua peor a las deformaciones de los elementos estructurales adyacentes.
- Por la diferente densidad entre los adhesivos de recibido y las placas o paneles puede producirse el llamado “efecto televisor”.

Los elementos prefabricados que se presentan tienen las ventajas relacionadas en el punto anterior y resuelven parte de los inconvenientes.

2.- Caracterización de los materiales empleados y definición geométrica del bloque propuesto.

2.1.- Materiales empleados:

Los prefabricados se fabrican utilizando tres tipos de yeso (tabla 1).

- **ESC:** Escayola E-35 (material de referencia)
- **YC1:** Yeso-corcho de alta densidad, reforzado con fibra de vidrio.
- **YC2:** Yeso-corcho de baja densidad, reforzado con fibra de vidrio.

Dosificación	YC1	YC2
Relación agua/escayola:	0.8	1.2
Contenido de corcho:	25 %	45 %
Contenido de fibra de vidrio G1LT:	2 %	2 %
Fluidificante MELMENT	0.05 %	-
Regulador de fraguado:	0.125 %	-

Tabla 1: Dosificación de yesos utilizados.

2.2.- Ensayos realizados:

Se realizan ensayos de laboratorio según normas UNE, sobre probetas de dimensiones 4x4x16 (cm), para la determinación de la resistencia a compresión, flexotracción y la densidad sobre los

materiales propuestos (tabla 2), con el objeto de introducir los resultados medios en la caracterización de materiales del programa de simulación ANSYS.

Propiedades	ESC	YC1	YC2
Densidad (Kg/cm ³)	1.00	0.67	0.50
Mod Young (MPa)	261,9	187,5	36,667
Mod Poisson	0.05	0.001	0.001

Ensayo compresión	Deformación (unit)			Tension (MPa)		
	ESC	YC1	YC2	ESC	YC1	YC2
L-Elástico	0.021	0.012	0.024	5,50	2,25	0,88
Rotura	0.027	0.158	0.054	5,60	2,98	1,06

Ensayo tracción	ESC	YC1	YC2
Rotura (MPa)	1,20	0,96	0,10

Tabla 2: Resultados medios de los ensayos.

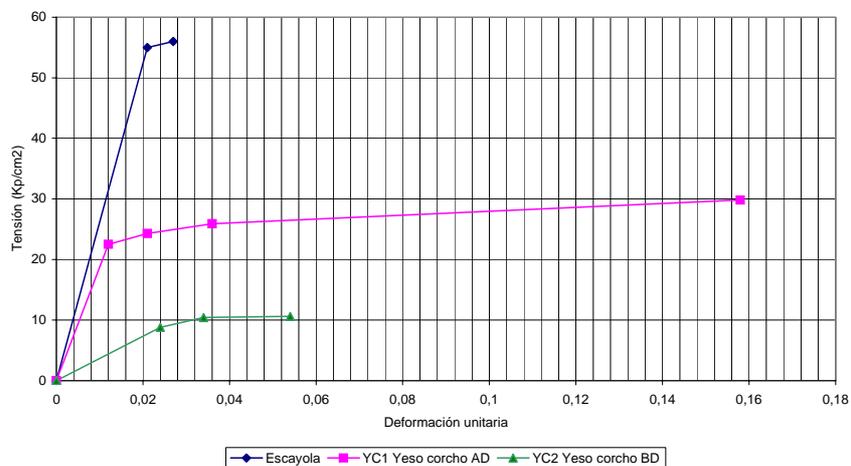


Fig.1 “Gráfica de tensión-deformación de los materiales empleados, utilizada en ANSYS para el análisis NO lineal”

2.3.- Geometría del bloque tipo: Se proponen elementos prefabricados macizos de junta machihembrada, tipo bloques de 66x52 cm y espesores 7 y 10 cm. El núcleo se resolverá con yeso-corcho (YC2) recubierto de dos placas de yeso-corcho (YC1) enlucidas por su cara exterior. (Figura 2) (Tabla 3)

Elemento	Peso x m ²	Peso x m (H=260cm)
Yeso-corcho 7 cm 1.5+4+1.5	40,10 k	104,26 k
Escayola 7 cm	70,00 k	182,00 k
Yeso-corcho 10 cm 1+8+1	53,40 k	138,84 k
Escayola 10 cm	100,00 k	260,00 k

Tabla 3: Pesos comparativos de los elementos

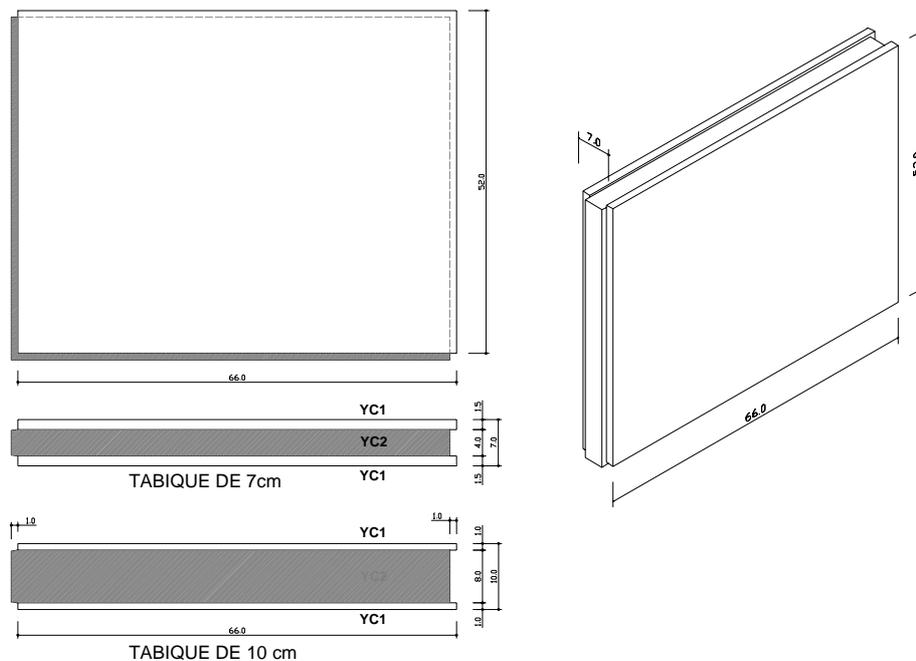


Fig.2. "Geometría de los elementos propuestos"

3.- Simulación mediante el análisis por elementos finitos de los elementos propuestos para tabiques.

Se realiza una serie de ensayos simulados mediante el programa ANSYS de cálculo por elementos finitos, siguiendo las directrices del documento sobre ensayos de tabiques ligeros del Instituto Eduardo Torroja (IET) (1973), para determinar la viabilidad de los elementos propuestos.

Se realizan dos tipos de ensayos diferentes:

- Ensayos sobre una muestra de tabique sometido a diversas sollicitaciones: carga superficial; carga vertical excéntrica; choque blando.
- Ensayos sobre un paño de tabique en pórtico sometido a diversas deformaciones.

3.1.- Ensayos para determinar el comportamiento mecánico de los elementos.

Estos ensayos están encaminados a asegurar una deformación mínima ante diversas sollicitaciones propias de éste elemento constructivo, y por supuesto, una resistencia mínima ante estados límite de cargas.

Los ensayos se realizarán sobre una muestra virtual de tabique terminado, de dimensiones 200x260x7 cm (ancho x alto x espesor), compuesto de elementos prefabricados de yeso-corcho de 7cm de espesor y con la siguiente configuración:

- Placas exteriores de yeso corcho **YC1** de alta densidad (0.67 Kg/cm³) de 15mm de espesor cada una.
- Núcleo central del bloque de yeso corcho **YC2** de baja densidad (0.5 Kg/cm³) de 40mm de espesor.

Dicha muestra estará firmemente unida tanto al forjado inferior como al forjado superior, entendiendo que dicha firmeza queda asegurada en la realidad a través del empotramiento del tabique entre el solado y relleno, y por el guarnecido del techo en su parte superior.

3.1.1.- Ensayo a carga superficial

Se somete al tabique-muestra a una presión uniforme en una de sus caras. Las limitaciones del Pliego de referencia son exclusivamente en cuanto a la deformación máxima del tabique, que no superará en ningún punto el valor de $H/500$ (0,52 cm) para una presión de 2 Kp/m² (0,002 Kp/cm²).

El ensayo se realiza inicialmente sobre el tabique realizado con elementos de espesor total 7 cm y configuración sandwich **1.5+4+1.5**. Por extensión, podemos afirmar que el tabique de yeso corcho de 10 cm de espesor, también cumple todas las especificaciones del IET, utilizando en éste tabique la configuración de 1+8+1cm. Esta afirmación está fundamentada en la mayor rigidez del tabique, aspecto éste que ha determinado la configuración mínima del tabique de 7cm

Ensayo a deformación (deformación máxima de $H/500 = 0,52$ cm)

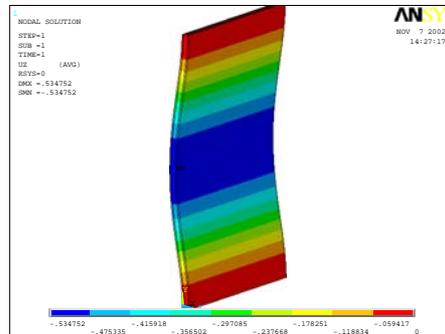


Fig.3. “Desplazamientos perpendiculares (cm)”

Comprobación de tensiones: Presión equivalente de **0.002** Kp/cm² sobre la totalidad de la superficie del tabique. En éste ensayo se comprobarán las tensiones principales máximas en cada punto del tabique elegido, sometido a la presión definida en el ensayo:

Tensiones en las placas exteriores de yeso-corcho **YC1**:

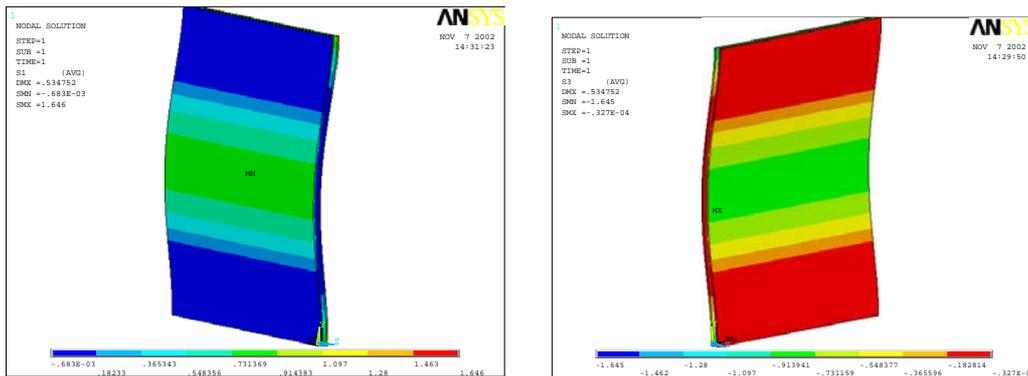


Fig.4 y 5. “Tensiones principales de tracción y compresión en YC1”

Tensiones en el núcleo de yeso corcho **YC2**:

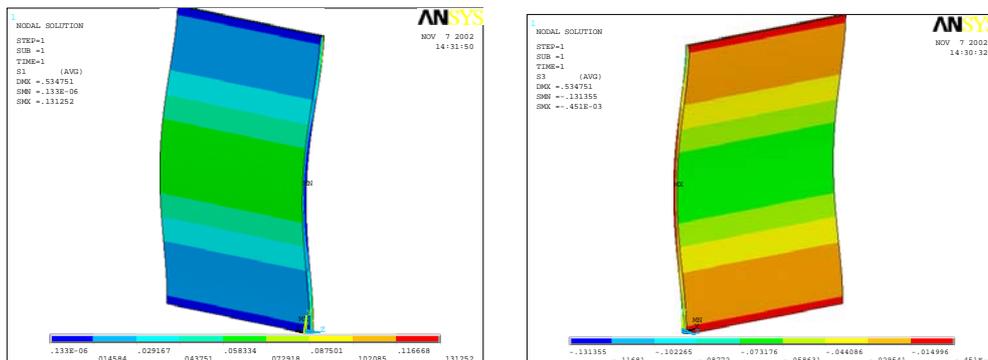


Fig.5 y 6. “Tensiones principales de tracción y compresión en YC2”

3.1.2.- Ensayo ante cargas verticales excéntricas

Se aplica al tabique-muestra una carga vertical P separada de aquel 30 cm. La carga se transmitirá al tabique a través de cuatro fijaciones mecánicas de 25mm de diámetro separadas 50 cm en horizontal y 15 cm en vertical como muestra la figura 7.

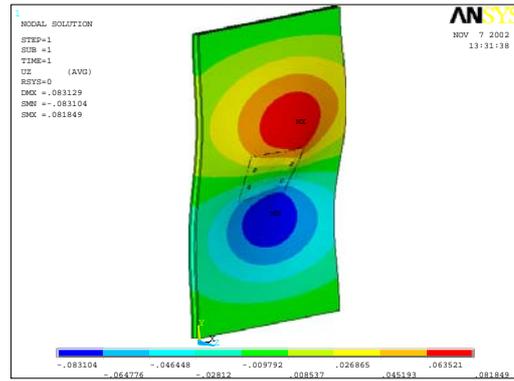
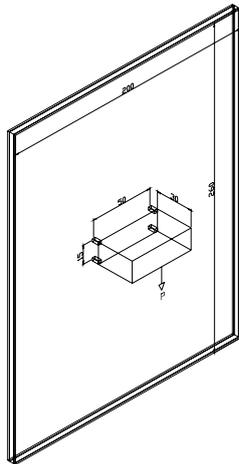


Fig. 7 “Geometría y esquema del ensayo” Fig.8 “Desplazamientos perpendiculares en cm”

Se ensaya el tabique-muestra a deformación con una carga de 50 Kp, y se mide su deformación (desplazamiento) máxima, que no superará el valor de $H/500$ (0,52 cm) en ningún punto. Se ensaya el tabique a rotura con una carga de 100 Kp, y se verificará que no presenta fisuras indicativas de la rotura del mismo.

Valores de tensiones en las placas exteriores de yeso- corcho (YC1).

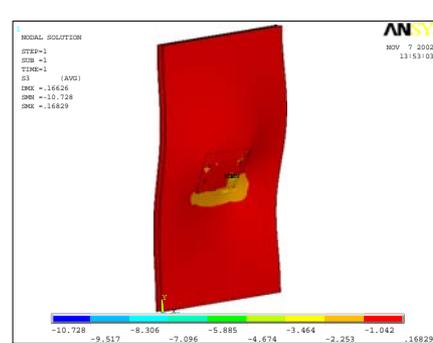
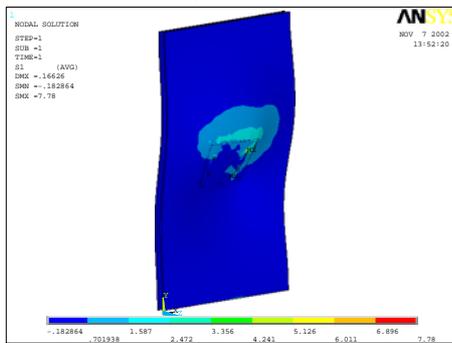


Fig.9 y 10 “Tensiones principales de tracción y compresión en YC1”

Valores de tensiones en el núcleo de yeso-corcho (YC2).

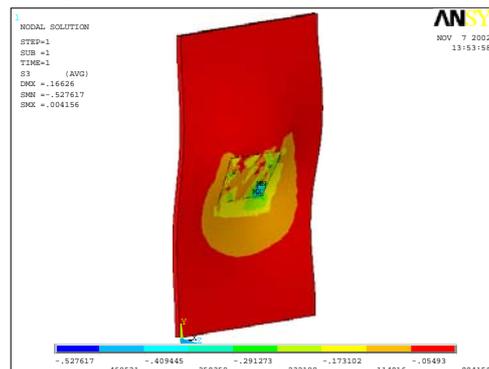
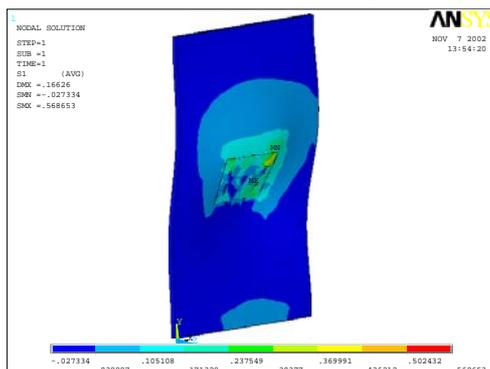


Fig. 11 y 12 “Tensiones principales de tracción y compresión en YC2”

3.1.3.- Ensayo a choque blando

El ensayo que prescribe el IET describe un choque blando sobre la superficie del tabique, realizado mediante un cuerpo blando de cuero relleno, de 25 k de peso y 25 cm de diámetro, lanzado en caída libre a una distancia de 90cm (ensayo a rotura) o bien a una distancia de 45 cm en el ensayo a deformación (que no superará $H/125$).

Debido a la dificultad de simulación del proceso bajo ANSYS, se realiza un ensayo de presión equivalente sobre un área circular de 25 cm de diámetro (área=490.874 cm²). Dicho ensayo se realizará con valores de presión escalonados, estudiando los estados de carga en los que se llega

a la deformación máxima ($H/125=2.08$ cm) y posteriormente, a la carga de rotura del panel (tensiones de rotura a tracción, fundamentalmente).

- Deformación máxima de $H/125$ (según IET cumple si impacto ≥ 12 k a $h=45$ cm)
- Rotura o aparición de fisuras (según IET cumple si impacto ≥ 25 k a $h=90$ cm)

El ensayo se realiza sobre el tabique-muestra de yeso corcho de 7 cm de espesor:

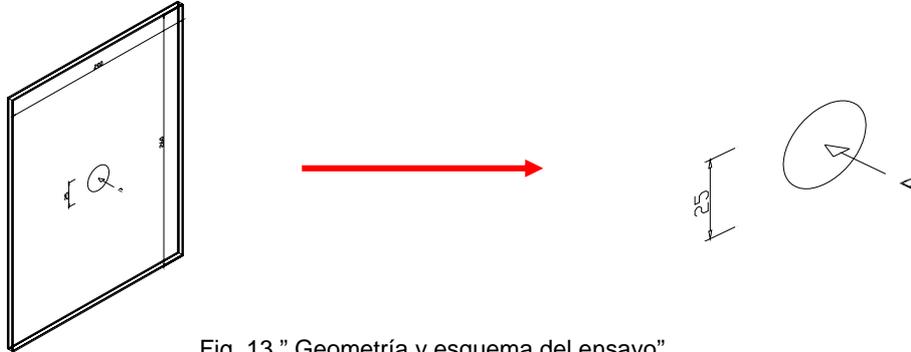


Fig. 13." Geometría y esquema del ensayo"

La tabla 4 muestra el resumen de los resultados de la simulación ante distintos estados de carga.

Fuerza kp	Presión kp/cm ²	Deforma cm	Tensiones max YC1 kp/cm ² (Tcomp – Ttrac)	Tensiones máx YC2 kp/cm ²	
10	0.02	0.12	0.35	0.031	
20	0.04	0.25	0.70	0.08	
40	0.08	0.50	1.42	0.125	
50	0.101	0.64	1.79	0.159	
150	0.305	1.93	5.40	0.48	
160	0.326	2.06	5.77	0.71	CARGA CRÍTICA A DEFORMACIÓN
200	0.407	2.57	7.21 – 7.17	0.64	
250	0.509	3.22	9.02 – 8.97	0.80	
300	0.611	3.86	10.83 – 10.77	0.99	CARGA CRITICA A ROTURA

Tabla 4: Resultados obtenidos en la simulación

A continuación, se muestran los resultados completos en su forma gráfica y numérica, correspondientes a los estados críticos de carga a deformación y a rotura.

Ensayo a deformación: carga equivalente de 160 kp, sobre área circular de 25 cm de diámetro.

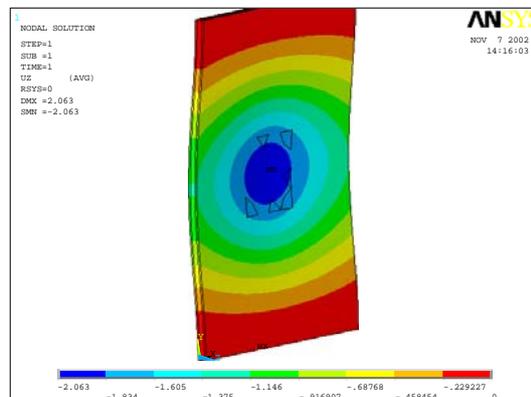


Fig 14 "Desplazamientos perpendiculares en cm"

Ensayo a rotura: carga equivalente de 300 kp sobre área circular de 25 cm de diámetro.

Valores de tensiones en las placas exteriores de yeso-corcho YC1:

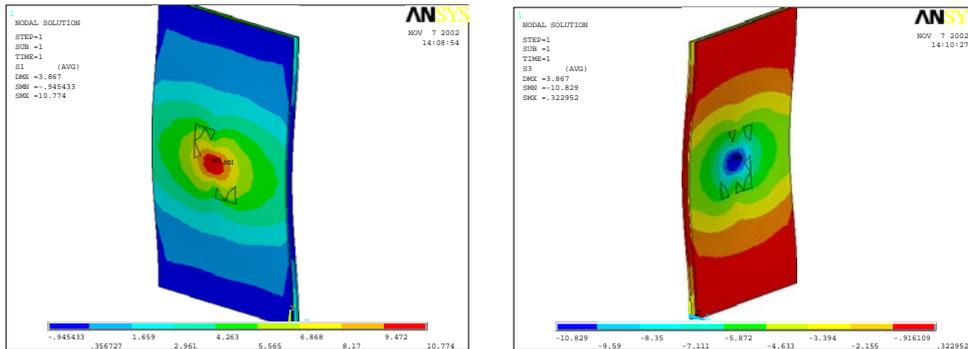


Fig. 15 y 16 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC1"

Valores de tensiones en el núcleo de yeso corcho YC2:

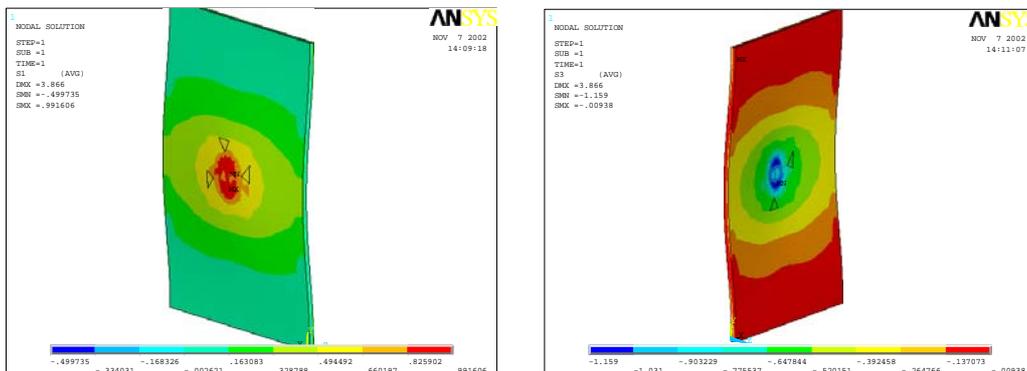


Fig 17 y 18 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC2"

3.2.- Ensayos comparativos de deformación sobre particiones de escayola maciza y particiones de yeso-corcho.

Se realizan una serie de ensayos comparativos simulados mediante el programa ANSYS de cálculo por elementos finitos, sobre un paño de tabique con hueco de paso. Los tabiques simulados serán de dos tipos:

ESC: tabique realizado con bloques de escayola macizos de 7cm de espesor.

YC: tabique compuesto con los elementos propuestos de yeso-corcho de 7cm de espesor.

Dichos ensayos consisten en la deformación de los tabiques debida a distintas hipótesis de deformación de la estructura donde se apoya (flecha excesiva de la estructura superior e inferior; asiento diferencial de un pilar del pórtico; flecha excesiva de la estructura superior; flecha excesiva de la estructura inferior; desplazamiento horizontal de la estructura superior), simulada mediante un pórtico rígido de acero a modo de bastidor, y considerando la unión entre ambos también rígida.

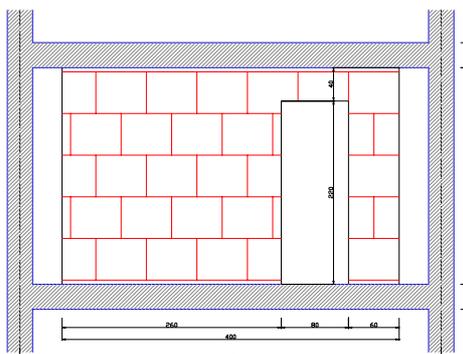


Fig 19 "Geometría y medidas del pórtico y tabique simulados"

Se presentarán los resultados gráficos y numéricos (sobre la deformada) de las tensiones principales de tracción (S1: valores positivos) y de compresión (S3: valores negativos) tanto en el tabique de escayola maciza como en el de yeso corcho. En éste último, se representan por separado los resultados sobre las placas exteriores y sobre el núcleo.

3.2.1.- Deformación por flecha excesiva de la estructura superior e inferior

Se trata de introducir una flecha en las vigas inferior y superior del bastidor, correspondiente a $L/250=2\text{cm}$, y analizar la respuesta de los tabiques ESC y YC.

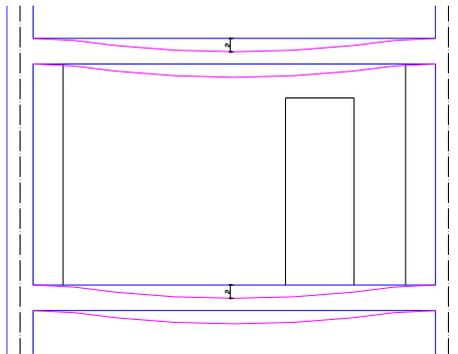


Fig 20 "Esquema de la deformación inicial del bastidor"

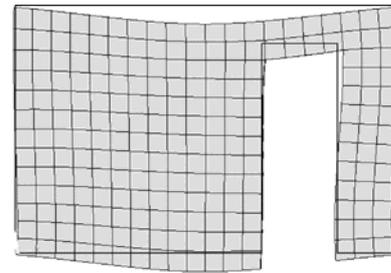


Fig. 21 "Deformada del tabique"

3.2.1.1.- Tabique de escayola maciza. Flecha = 2cm (l/250):

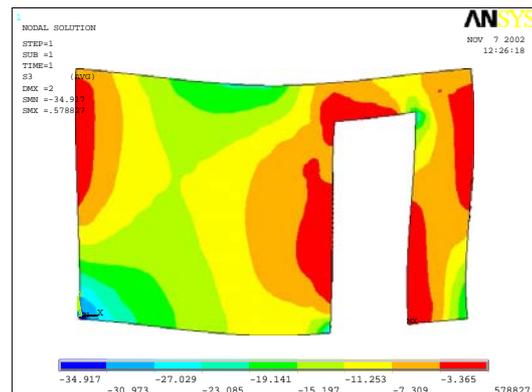
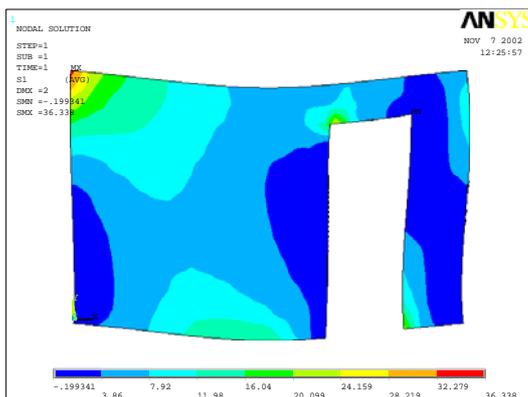


Fig 22 y 23 "Tensiones principales de tracción y compresión en E"

3.2.1.2.- Tabique de yeso-corcho. Flecha = 2cm (l/250)

RESULTADOS sobre placas exteriores de YC1:

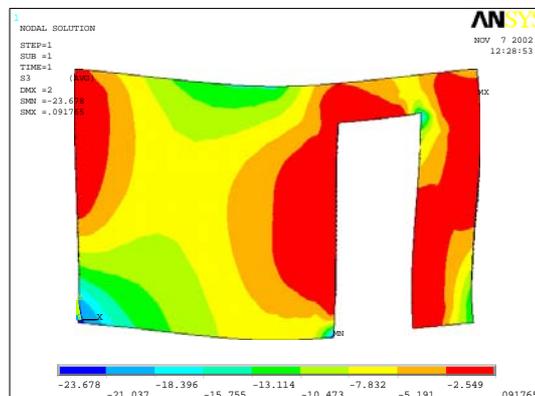
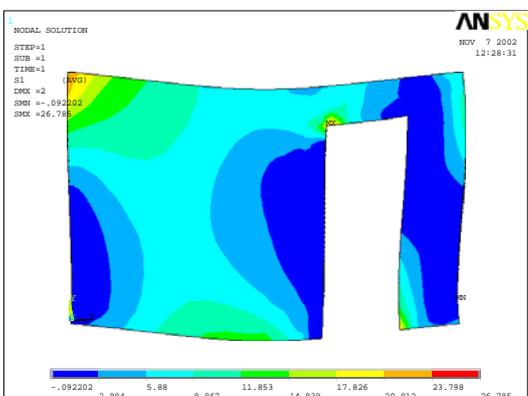


Fig 23 y 24 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC1"

RESULTADOS: sobre núcleo de YC2:

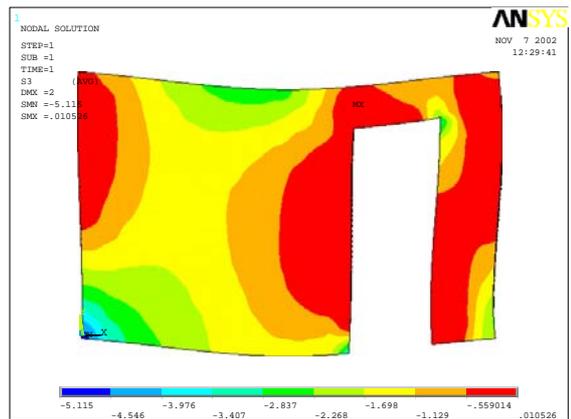
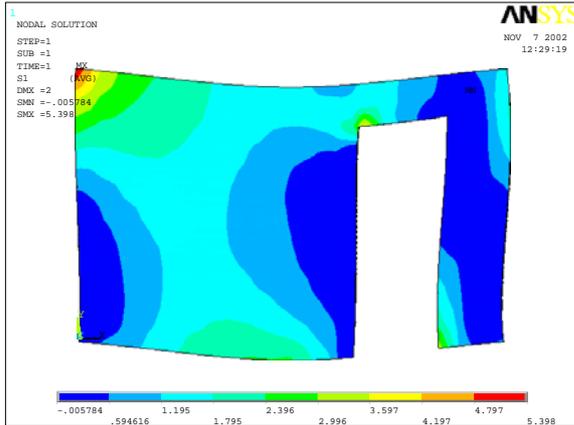


Fig 25 y 26 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC2"

3.2.2.- Deformación por asiento diferencial de un pilar del pórtico (cizalladura)

Se trata de introducir un asiento diferencial en un extremo del bastidor, y provocar una deformación de cizalladura vertical en el tabique. Dicho asiento será de 4cm (L/125)

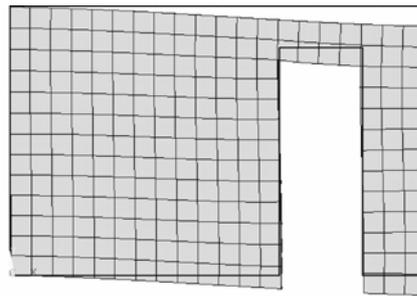
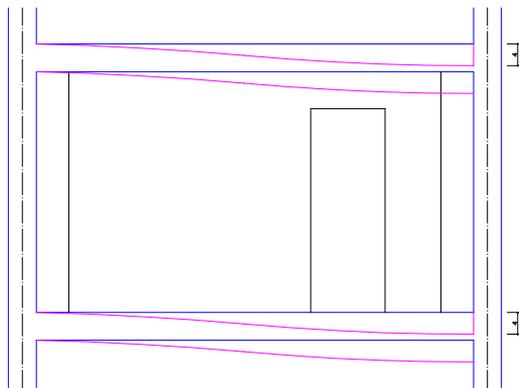


Fig. 27 "Esquema de la deformación inicial del bastidor" Fig 28. "Deformada del tabique"

3.2.2.1.- Tabique de escayola maciza. Descenso=4cm

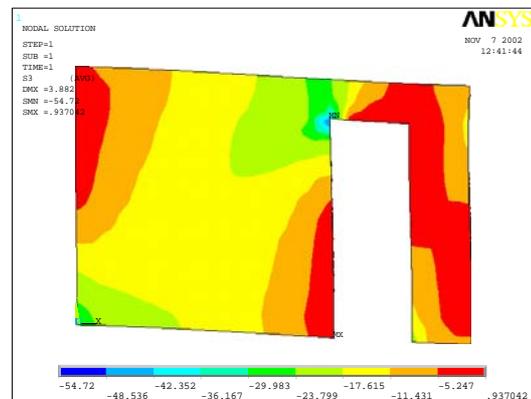
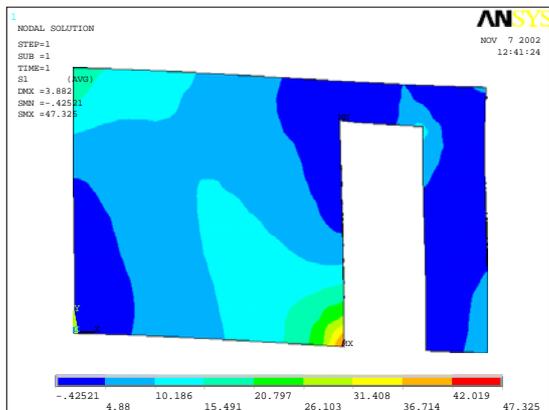


Fig. 29 y 30 "Tensiones principales de tracción y compresión en E"

3.2.2.2.- Tabique de yeso-corcho. Descenso=4cm

RESULTADOS sobre placas exteriores de **YC1**:

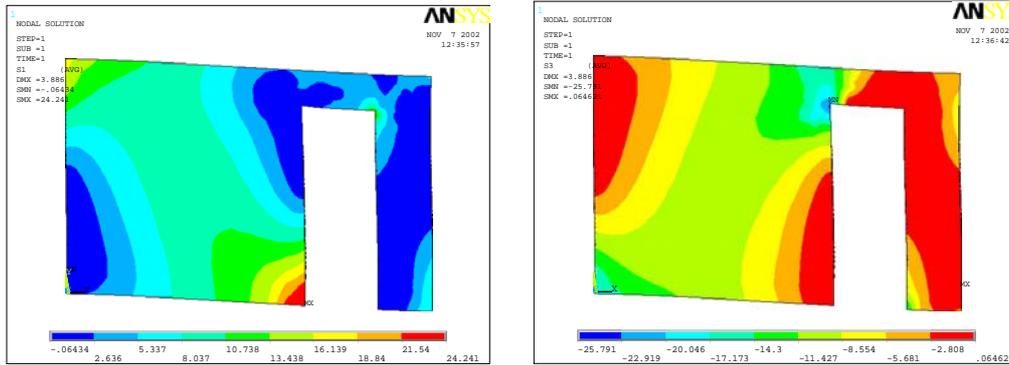


Fig. 31 y 32 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC1"

RESULTADOS: sobre núcleo de **YC2**:

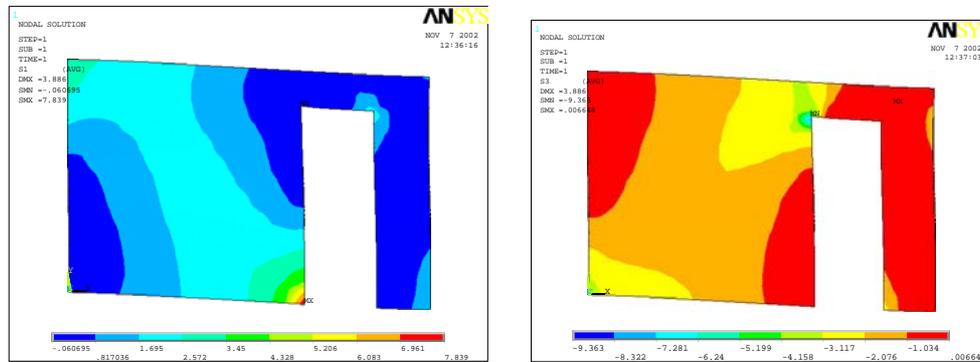


Fig. 33 y 34 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC2"

3.2.3.- Deformación por flecha excesiva de la estructura superior

Ensayo semejante al primero, pero limitando la deformación a la viga superior del bastidor (tabique sobre solera).

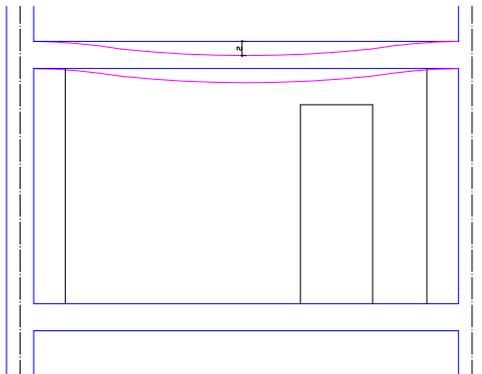


Fig. 35 "Esquema de la deformación inicial del bastidor"

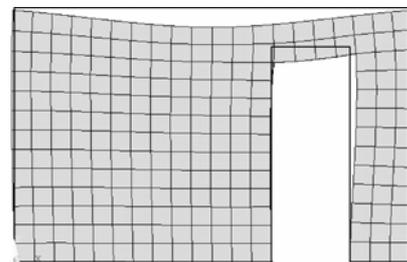


Fig. 36 "Deformada del tabique"

3.2.3.1.- Tabique de escayola maciza. Flecha=2cm (l/250)

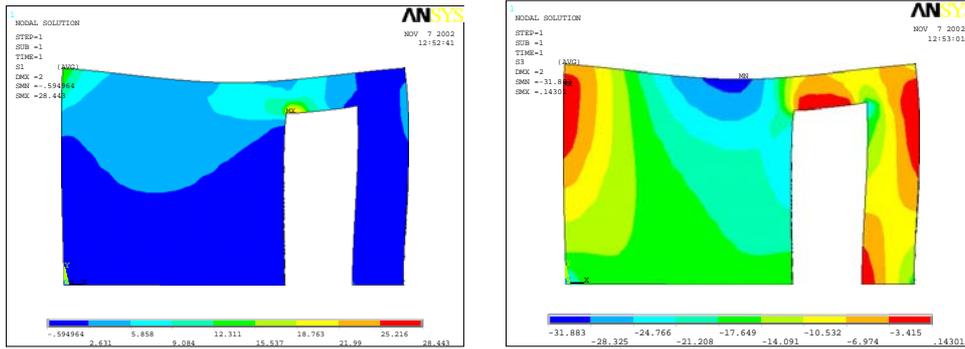


Fig. 37 y 38 “Tensiones principales de tracción y compresión en E”

3.2.3.2.- Tabique de yeso-corcho. Flecha = 2cm (l/250)

RESULTADOS sobre placas exteriores de YC1:

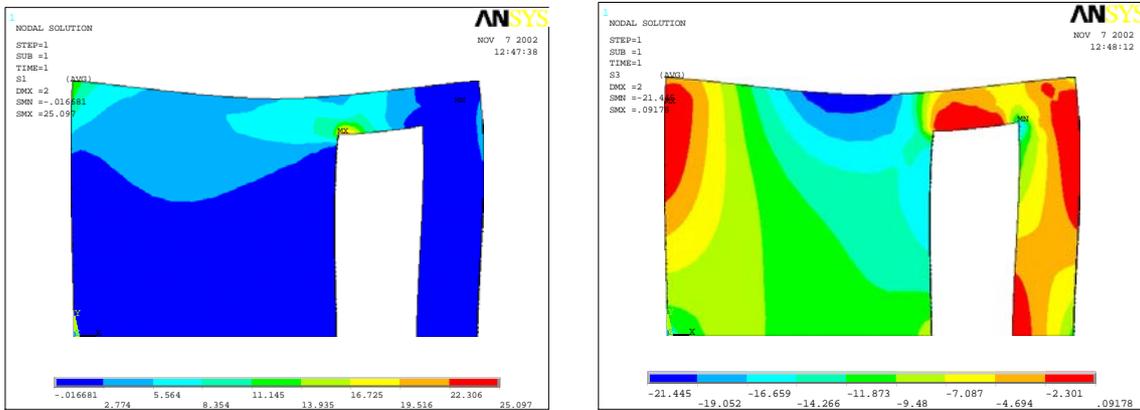


Fig. 39 y 40 “Tensiones principales de tracción y compresión en YC1”

RESULTADOS: sobre núcleo de YC2:

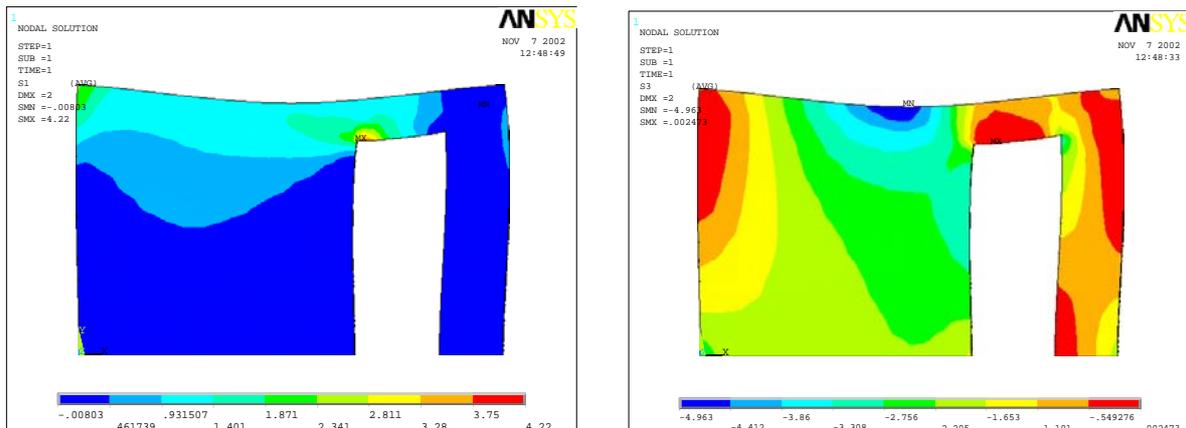


Fig. 41 y 42 “Tensiones principales de tracción y compresión en YC2”

3.2.4.- Deformación por flecha excesiva de la estructura inferior

Ensayo semejante al primero, pero limitando la deformación a la viga inferior del bastidor

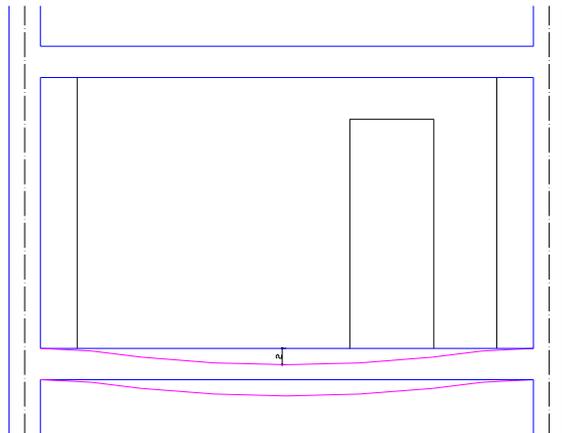


Fig. 43 "Esquema de la deformación inicial del bastidor"

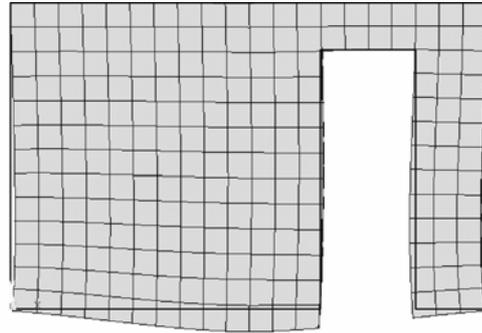


Fig. 44 "Deformada del tabique"

3.2.4.1.- Tabique de escayola maciza. Flecha = 2cm (L/250)

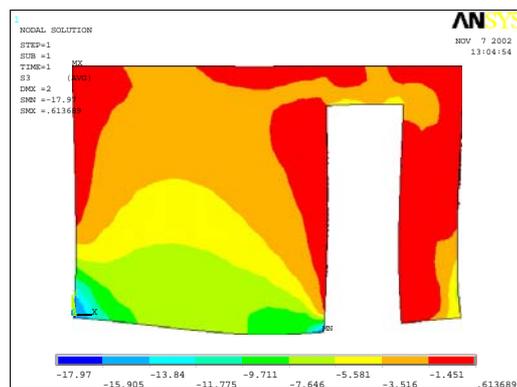
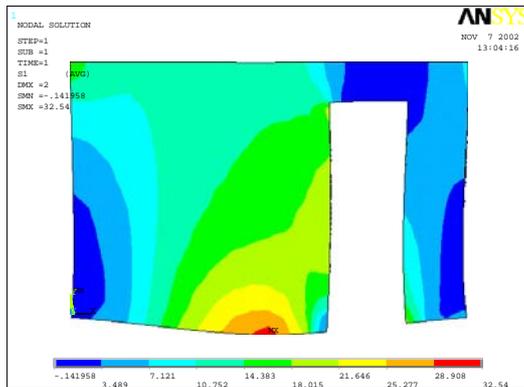


Fig. 45 y 46 "Tensiones principales de tracción y compresión en E"

3.2.4.2.- Tabique de yeso-corcho. Flecha = 2cm (l/250)

RESULTADOS sobre placas exteriores de YC1:

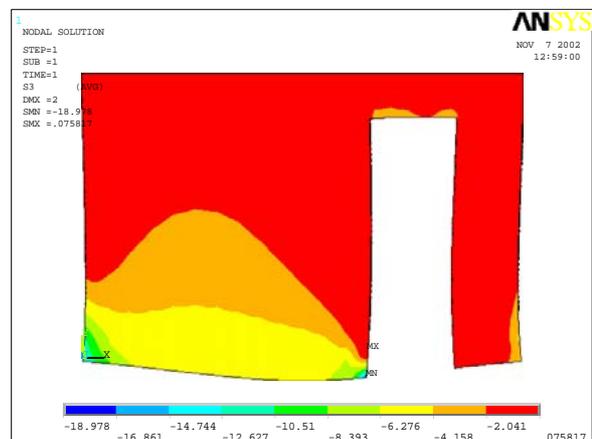
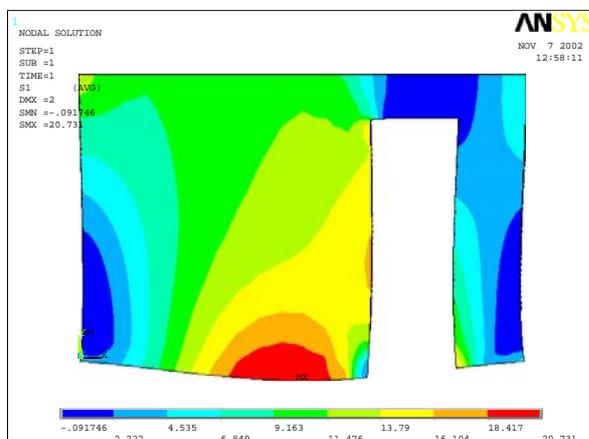


Fig. 47 y 48 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC1"

RESULTADOS: sobre núcleo de YC2:

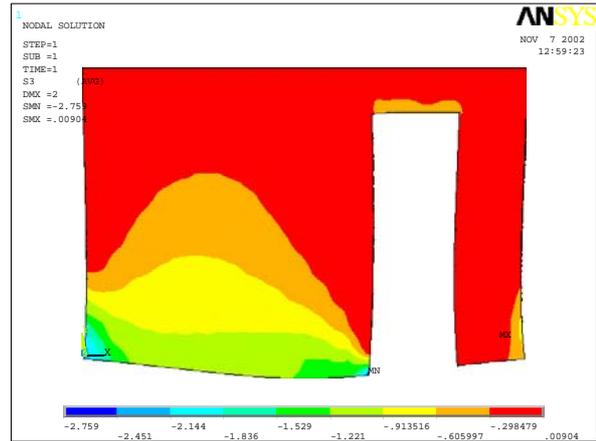
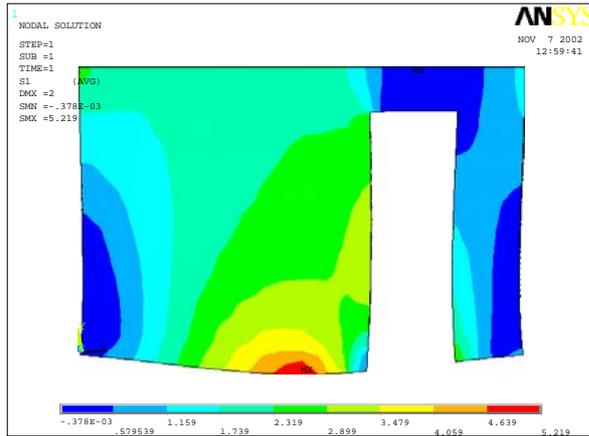


Fig. 49 y 50 “Tensiones principales de tracción y compresión en YC2”

3.2.5.- Deformación por desplazamiento horizontal de la estructura superior

Ensayo de deformación a cizalladura horizontal, provocando un desplazamiento horizontal de la viga superior de 2cm (H/145). Se produce una deformación análoga a la sufrida en caso de sismo.

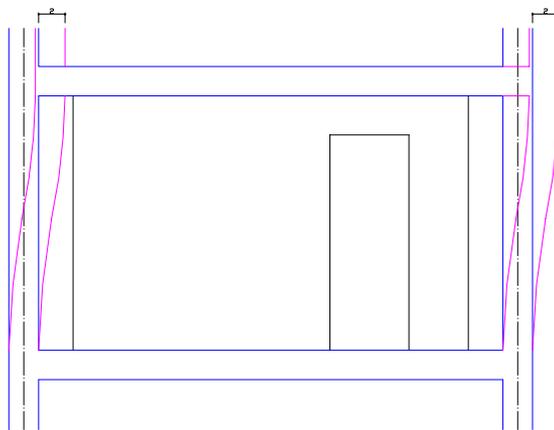


Fig. 51 “Esquema de la deformación inicial del bastidor”

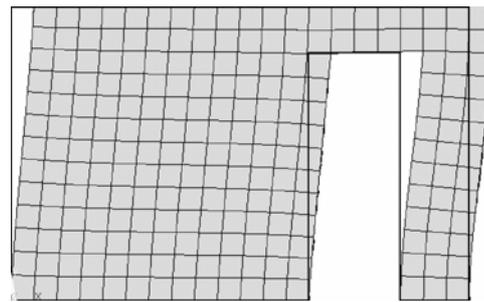


Fig. 52 “Deformada del tabique”

3.2.5.1.- Tabique de escayola maciza. Desplazamiento = 2cm (h/145)

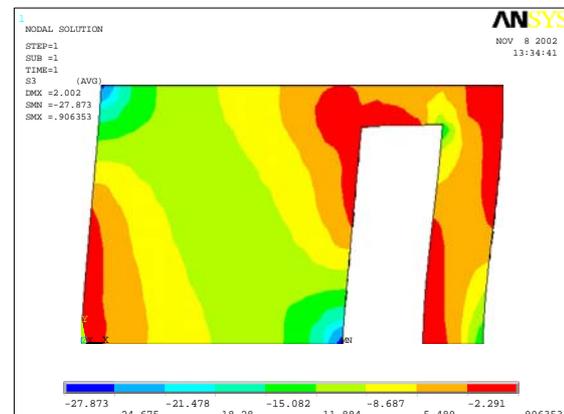
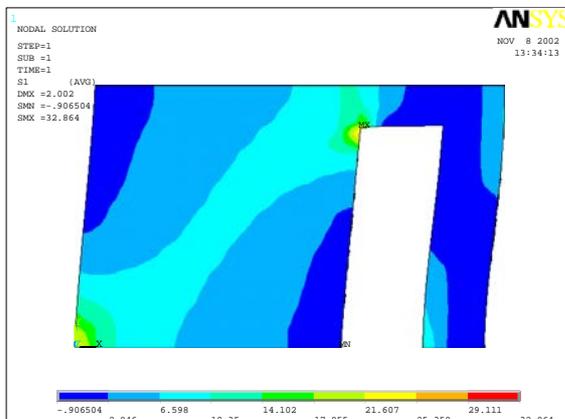


Fig. 53 y 54 “Tensiones principales de tracción y compresión en E”

3.2.5.2.- Tabique de yeso-corcho. Desplazamiento = 2cm (H/145)

RESULTADOS sobre placas exteriores de YC1:

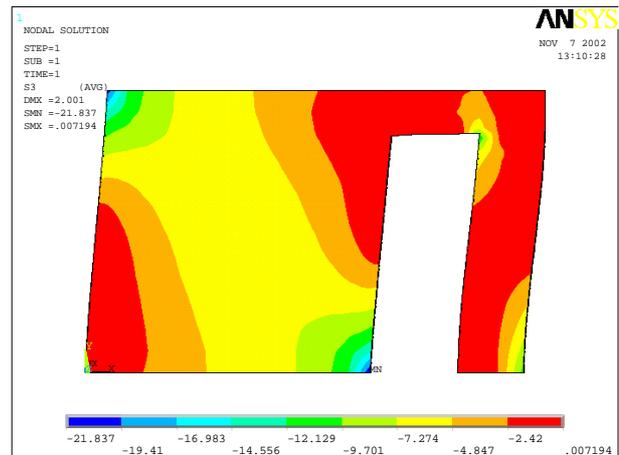
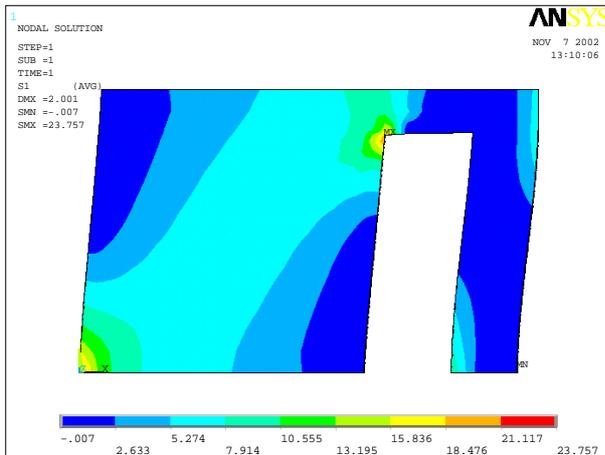


Fig. 55 y 56 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC1"

RESULTADOS: sobre núcleo de YC2:

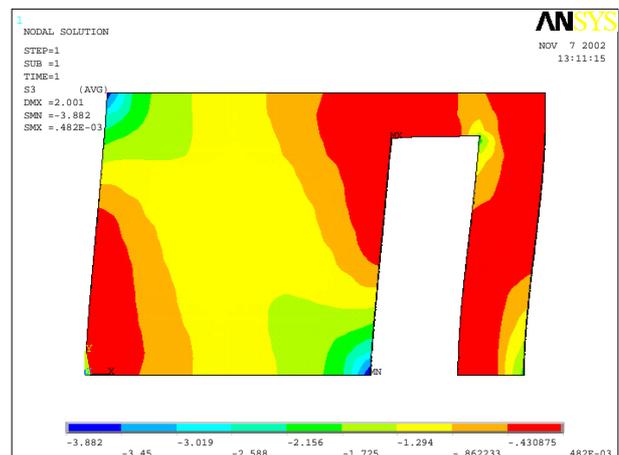
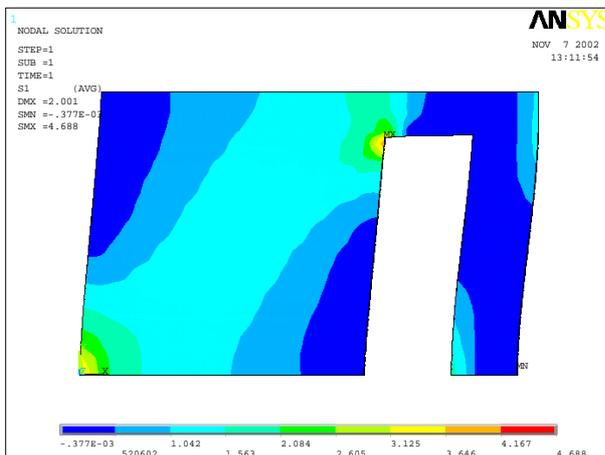


Fig. 57 y 58 "Tensiones principales de tracción y compresión en YC2"

4.- Conclusiones sobre los ensayos.

En los ensayos realizados sobre el tabique-muestra, podemos concluir en que el tabique propuesto responde de forma óptima en cuanto a deformación, y no se producen tensiones de rotura en ningún punto, en los tres ensayos realizados. Esto se debe en parte al comportamiento equilibrado en tracción y compresión (al contrario que la escayola que resiste más a compresión que a tracción, lo que descompensa su comportamiento a flexión).

Por otra parte, de los resultados obtenidos sobre los ensayos a distintas situaciones de deformación, podemos asegurar también la integridad del tabique ante dichas situaciones, y del análisis de los mismos podemos deducir que los requerimientos iniciales de gran deformabilidad se cumplen holgadamente.

Por último, los resultados obtenidos, podrán servir para estudiar un mejor diseño de junta entre bloques, y del material utilizado para resolver la misma.

Por tanto, el tabique realizado con elementos prefabricados de yeso-corcho es más ligero, más equilibrado, y con las simulaciones efectuadas, se demuestra que responde de forma óptima ante las distintas solicitaciones para las que un tabique debe resistir, y ante las condiciones de carga que especifica el Instituto Eduardo Torroja para tabiques ligeros.

5.- Bibliografía.

(*) $1\text{Kp/cm}^2=0.098\text{Mpa}$.

RY 85. Pliego general de recepción de yesos. M.O.P.U.

Río Merino, J; Hernandez Olivares, F . “Escayola aligerada con sólidos celulares”.

Informes de la construcción, Vol 50. Nº458. Noviembre-Diciembre 1998, 43-60.

AENOR.- UNE 102-020. “Paneles prefabricados de yeso o escayola de paramento liso para la ejecución de tabiques. Especificaciones” 1998.

Hernández Olivares, F; Bollati M.R.; Río M; Parga-Landa, B.- “Development of cork-gypsum composites for building applications”. Construction and Building Materials 13. 1.999.

Río Merino, M; Santa Cruz, J; Hernandez Olivares, F.- Yeso aligerado con corcho y su aplicación en paneles para construcción”. Solicitud de patente. OTRI. 1.999. P9902034.

Río Merino Mercedes; Hernández Olivares Francisco. - “Influencia del grado de dispersabilidad de la fibra de vidrio tipo E en el comportamiento mecánico y la trabajabilidad de la escayola”. Mater construcc. Vol. 51 nº 261/ 2.001.

Directrices comunes U.E.A.t.c. para la apreciación técnica de tabiques ligeros. Monografías del Instituto Eduardo Torroja nº 313. Madrid. 1973.

Directrices comunes U.E.A.t.c. para el reconocimiento de la idoneidad técnica de los tabiques ligeros. Monografías del Instituto Eduardo Torroja nº 247. Madrid. 1965.