

Características de los muros antiguos de Sevilla

Antonio Jaramillo Morilla
Carmen Rodríguez Liñán
José Luis de Justo Alpañés
Rocío Romero Hernández
Filomena Pérez Gálvez

La mayoría de los edificios antiguos de Sevilla, tienen una estructura formada por muros de carga de fábrica de ladrillo y forjados de vigas de madera. Pocos edificios presentan arcos y bóvedas.

A la hora de rehabilitar un edificio antiguo, los puntos más conflictivos suelen ser la viguería de madera y la fábrica de ladrillo.

El hecho de que una estructura haya permanecido de pie durante cientos o miles de años no significa que sea segura en su estado actual. La permanencia histórica no es garantía por sí de seguridad. Es necesario por tanto un análisis de la estructura y cimentación de los edificios, previo a cualquier intervención. Aunque existen muchas estructuras en el límite del colapso, el riesgo aumenta considerablemente cuando se proyecta una intervención en los edificios, ya que se modifican en general: las cargas, el sistema estructural (apoyos, rótulas, etc.), o los propios materiales (limpiezas agresivas de piedras).

Además, algunos hechos desdichados en la ciudad, han motivado el estudio de las características de estas estructuras de ladrillo antiguas. Por esta causa, hemos tenido acceso a varios ensayos realizados a las fábricas de ladrillo.

En la práctica de la rehabilitación es frecuente la necesidad de reutilizar muros de fábrica antiguos, sin que se posea un criterio objetivo de evaluación de las características resistentes. Además, la mayoría de nuestro patrimonio edificado tiene como parte fundamental de la estructura los muros, en sus distintas tipologías.

No es posible, física ni económicamente, mantener todas las edificaciones y muros antiguos, por que nuestra forma de vivir ha cambiado, pero una gran parte puede adaptarse y hacerse más eficiente.

La tierra fue el material con el que se construyeron ciudades como Igoulimime (Marruecos), murallas como las de Chan Chan en Perú, templos como el de la Isleta de Méjico o la gran mezquita de Djenne en Mali. Actualmente, más de 1.500 millones de personas, viven, se alojan, o simplemente se protegen de la intemperie, mediante construcciones de este tipo.

En octubre de 1989, tres arquitectos, presentamos a la Dirección General de Arquitectura de la Junta de Andalucía, un proyecto de investigación titulado *Investigación sobre las características resistentes de los muros antiguos de fábrica, tapial, adobes y mixtos*. El presupuesto era de 7,5 millones, de los cuales más de la mitad correspondían a ensayos y más de un millón a gastos burocráticos y material. La Junta de Andalucía nunca nos contestó. Los responsables políticos consideraban que no era interesante estudiar los muros antiguos.

PASOS A SEGUIR EN LOS ESTUDIOS DE MUROS

Por otro lado, toda intervención de rehabilitación o reparación sobre un edificio o monumento requiere:

- Conocimiento de los materiales: peso específico, densidad, compacidad, porosidad, módulos de

deformación, coeficiente de Poisson, etc.

- Conocimiento de las cargas que han actuado sobre el edificio, incluyendo su propia construcción.
- Conocimiento del esquema estructural actual: apoyos, rótulas, empotramientos, etc.
- Similitud del modelo en su estado actual con el modelo que hemos generado.
- Previsiones de carga, materiales y esquema de apoyos del modelo durante y tras la intervención.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los muros de las construcciones antiguas, son en general de formato mayor que los actuales, y los ladrillos también. Sin embargo, las características de los morteros del siglo XVIII dejan bastante que desear. El punto débil de las fábricas estamos encontrando que es el mortero, en general de cal, y que se encuentra en dosificaciones muy diferentes de la considerada tradicional 1:3. Ésto nos lleva a pensar que las resistencias asignadas a estas construcciones suelen ser superiores a las reales.

Además, nos encontramos con grandes heterogeneidades en su masa. Suelen aparecer zonas con rellenos de adobe con restos de elementos cerámicos, yeso o antiguos cargaderos, totalmente podridos.

Proponemos en este artículo la creación de una base de datos de características de los muros, dando especial importancia a su antigüedad, y características resistentes.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE MUROS

El objetivo suele ser establecer ensayos no destructivos rápidos para la determinación de las características mecánicas, para lo que era necesario una comparativa con ensayos destructivos. Los tipos de ensayos que utilizamos son:

- Ultrasonidos.
- Resistencia eléctrica.
- Medida de propiedades dinámicas (vibraciones ambientales).

En el método de ultrasonidos se mide el tiempo que una onda ultrasónica tarda en recorrer un medio

desde el punto emisor hasta el captador. Nos permite relacionar velocidades con módulos de elasticidad y por tanto con resistencias.

Otro método de ensayo no destructivo está basado en la relación que existe entre su resistencia al paso de una corriente eléctrica, su masa y su porosidad y como consecuencia, con su resistencia y deformabilidad. Lógicamente tiene bastante influencia la humedad del material. Son necesarios medidores de alta capacidad, debido a la gran resistencia eléctrica de estos materiales.

Para medir la rigidez estructural, «in situ», utilizamos un equipo de vibraciones dinámicas, con una sensibilidad suficiente para activarse con los movimientos producidos por el tráfico y el viento (vibraciones ambientales).

El equipo es un sistema portátil de campo, modelo Kinematic que está formado por los siguientes elementos:

- Acelerógrafos electromagnéticos modelo SC-1 de la marca Kinematic.
- Condicionador de señales modelo SC-1 para cuatro canales, que incorpora funciones de integración y derivación de la señal del acelerógrafo.
- Grabador de la señal, para su posterior análisis. Registrador analógico FM, modelo Hewlett Packard 3964.
- Juego completo de cables de interconexión.
- Analizador de espectros de respuesta modelo Bruel-Kjaer.

En las figuras 1 y 2 podemos ver estos equipos.



Figura 1.
Acelerógrafo y equipo de registro

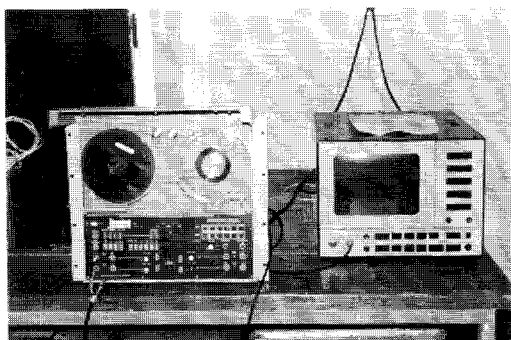


Figura 2
Magnetófono para la señal y analizador de señales

Por ejemplo, en la calle Betis 19, los acelerógrafos fueron colocados en dos posiciones diferentes:

- Posición 1. En el hueco del balcón de primera planta. Se realizaron tres medidas: Paralela al eje de la calle, perpendicular al mismo eje, y medida de vibraciones verticales.
- Posición 2. Sólo pudieron realizarse dos medidas: paralela y perpendicular al eje de la calle.

EDIFICIO C/ BETIS N.º 19

El edificio por sus características y tipología de fachadas y huecos se puede fechar como del último tercio del siglo XIX. Consultada la documentación existente en el archivo municipal aparecen expedientes de obras de reforma interiores y fachada que podrían corresponder al edificio que nos ocupa en los años 1935 / Exp: 515 y 1945 / Exp: 334. Dada su baja calidad constructiva y la ausencia de elementos significativos de valor histórico esta edificación no se encontraba reseñada ni catalogada en el Diccionario Histórico de Sevilla de Collantes de Terán A. ni en otros editados por la Consejería de Obras Públicas y Urbanismo. En la figura n.º 3 podemos ver la fachada en su conjunto, antes del cierre de los huecos.

Se trataba de un edificio de tres plantas entre medianeras, con fachada a la calle Betis n.º 19. La fachada tiene 18 metros de longitud y una altura hasta remate de antepecho de 13,1 m, como podemos ver en la figura 4.

La estructura horizontal del edificio se resolvía mediante forjados de vigas de madera y tablazón del



Figura 3
Esquema de la fachada del edificio

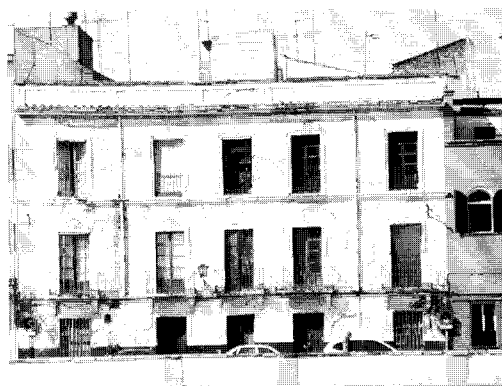


Figura 4
Estado de la fachada del edificio C/ Betis n.º 19

mismo material, apoyados en muros de carga de fábrica de ladrillo o cargaderos de madera en la zona del patio central.

Los forjados y vigas de madera eran de pino silvestre y los muros de cargas de fábrica de ladrillo tomada con mortero de cal.

La fachada está resuelta mediante repetición de huecos alineados, formados por balcones volados de hierro forjado en primera planta y huecos enrasados hasta el suelo en planta segunda. Las ventanas y las tres puertas están distribuidas simétricamente en planta baja. Los elementos decorativos se reducen al

recercado de molduras trenzadas simples en planta baja y segunda y rematadas con penachos de temas florales en balcones de primera planta (estas molduras han desaparecido) en la actualidad sólo quedan vestigios o huellas de las mismas.

La azotea es transitable y se accede a ella mediante una escalera ubicada en la primera crujía de fachada y en el eje medio de la planta.

ESTADO DEL MURO CUANDO SE ESTUDIÓ

El muro estaba constituido por una fábrica de ladrillo de 54 cm de espesor (dos pies) tomada con mortero de cal de muy baja calidad, está aparejada de forma muy irregular puesto que existen zonas de distinto tipo de ladrillos y aparejo que corresponden a modificaciones de los huecos de planta baja en actuaciones anteriores (figura 5). También aparecen recrecidos de la fábrica realizados con restos de teja y morteros de baja calidad.



Figura 5
Detalle de las piedras sin trabazón en cargadero

La mayor parte de la fábrica que se descubre bajo el enfoscado que aún queda, ha perdido el mortero entre llagas y tendeles. También ha aparecido un durmiente de madera atacado por termitas embebido en la fábrica del muro de planta baja, a una altura de 1,50 m entre dos de los huecos, como vemos en la figura 6. Los elementos decorativos de recercado de huecos han desaparecido.

En un análisis visual del muro de fachada se detectaban las siguientes deformaciones y daños:

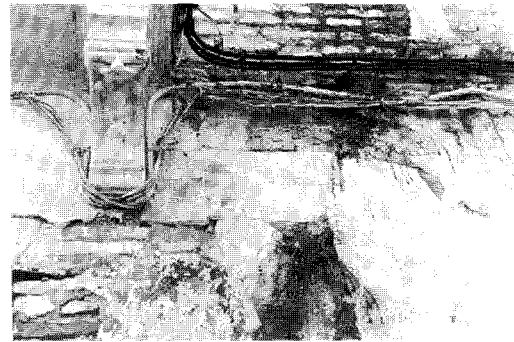


Figura 6
Detalle del cargadero de madera en hueco ventana

- Existe una clara deformación de la fachada en sentido longitudinal, hacia la zona entre el segundo y el tercer hueco de fachada de la zona izquierda. Las deformaciones vienen provocadas probablemente por un cedimiento o asiento de esas zonas justificado por un vertido del agua de alcantarillado en el entorno. Esta deformación está más acusada en la zona izquierda y central de la fachada observada desde el exterior. El asiento de la cimentación ha sido inadmisiblemente para la fábrica, agrietándose en los dinteles de los balcones de primera y segunda planta del primer al tercer tramo de la fachada. El resto se ha adaptado a la deformación, siendo evidente en la inclinación de la línea horizontal de los dinteles y de los vuelos de los balcones.
- Antes de demolerlo, al estar tabicados los huecos por razones de seguridad, se observaban perfectamente las deformaciones existentes que pueden ser de varios centímetros de inclinación respecto a la horizontal en muchos puntos.
- Los enfoscados habían desaparecido en su mayoría, dejando al descubierto una fábrica de ladrillo de muy baja calidad y con grandes irregularidades como ya hemos descrito.

Este muro de fachada es la estructura portante de los forjados de la primera crujía del edificio en todas las plantas y del descansillo de la escalera. Desde el interior, cuando están al descubierto se puede apreciar que la vigas empotradas en el muro tiene en un alto porcentaje las cabezas empotradas atacadas por hongos de pudrición, debido a una humectación con-

tinuada por agua de lluvia, tanto a través de la fachada (cornisas, balcones) como de la cubierta. Por lo tanto habrá un porcentaje muy alto de vigas que han perdido las cabezas empotradas en el muro o tienen un apoyo deficiente. Todo ello conlleva una falta de arriostamiento adecuado en sentido perpendicular a la fachada, además de un apoyo y sustentación deficiente de las primeras crujías.

El martes 9 de abril de 1999 se extrajeron las muestras necesarias por parte del personal del laboratorio. Los ensayos se han realizado en el laboratorio de la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, y nos han sido remitidos con fecha 2 de diciembre de 1999. Los datos obtenidos podemos resumirlos de la siguiente manera:

- Geometría de la fábrica
- Composición química del mortero.
- Características físico-mecánicas del mortero y del ladrillo.

Se tomaron muestras en tres zonas: Zona A entre los dos huecos extremos a la izquierda de la fachada, cuyo hueco se aprovechó para colocar el acelerógrafo, como vemos en la figura 7. Muestra de la Zona B, entre los huecos centrales de la fachada, y muestra C en el extremo derecho de la fachada

No han podido realizarse ensayos de compresión de la fábrica completa, dado su estado de disgregación y composición de dos hojas no trabadas. Ni siquiera han podido realizarse ensayos de compresión del mortero, dado el estado de disgregación en que se encontraba. Como dice el informe del Laboratorio: la falta de una cohesión mínima en el mortero ha impedido el tallado de probetas de cualquier tipo.

- Fábrica en general de dos pies, tomados con mortero de cal de muy baja cohesión (los terrones se deshacen fácilmente con los dedos).
- Ladrillo macizo artesano de 282 x 141 x 52 cm
- Llagueado horizontal enrasado de 31 cm
- Llagueado vertical enrasado de 42 cm

El revestimiento superficial del paramento está deteriorado, con pérdida de material de revestimiento y del mortero de las llagas de hasta 5 cm de profundidad en algunos lienzos.

Una de las zonas del muro estaba tomada sorprendentemente mediante mortero de yeso (muestra B en exterior).



Figura 7
Situación del acelerógrafo en el punto de extracción de la muestra

La muestra A tiene una proporción de óxido de calcio dosificado inicialmente del 7,53%, lo que equivale a un mortero de proporción 1:13.

La muestra B tiene una proporción de óxido de calcio dosificado inicialmente del 5,69%, lo que equivale a un mortero de proporción 1:18.

Lo normal es que los morteros de cal tengan dosificaciones 1:3. Es decir, inicialmente, el mortero se dosificó con la cuarta o sexta parte de la cal que debería de haber tenido.

Además, la proporción de óxido de cal no carbonatado es del 0%. En condiciones normales, el óxido de cal no carbonatado con relación al dosificado inicialmente debe de estar en una proporción del 50% para los primeros 100 años.

Los ensayos de cal no carbonatado indican que el mortero ha llegado a su fase final y está completamente disgregado. La cal existente no proporciona ninguna cohesión. Por esto no se han podido tallar muestras de los morteros.

El ladrillo sí tiene una buena resistencia característica de 162 kp/cm².

La resistencia a compresión de la fábrica no podemos estimarla con ensayos, como mucho tenemos 100-200 kPa (antes de aplicar ningún coeficiente de seguridad). La resistencia a tracción es nula.

De esta forma, se consiguieron 5 medidas de señales para la determinación de las frecuencias de vibración. Las medidas fueron realizadas el día 9 de Noviembre a las 9 de la mañana, con un viento moderado-ligero. La labor de medida de campo duró 3 horas.

Luego una estimación aproximada del periodo sería de 0,097 a 0,1 s.

Si consideramos el muro como un elemento ménsula, el módulo de elasticidad de la fábrica de ladrillo, podría estimarse, despejando de la expresión:

$$T = 2\pi/w = 2\pi \sqrt{\frac{m}{E_d I}}$$

$$T = 2 * 3,1416 * (170 / (E_d * 0,277)^{0,5}) = 0,097$$

Tenemos que $E_d = 2578648 \text{ kPa} = 25786,48 \text{ kp/cm}^2$.

El módulo de elasticidad estático es aproximadamente el dinámico dividido por 2,5, lo que es lo mismo:

$$25.786,48/2,5 = 10.314,49 \text{ kp/cm}^2 = 103.145 \text{ kPa}$$

El análisis dinámico *in situ* indica que la frecuencia fundamental del edificio es de 0,225 Hz, o lo que es igual, un periodo de $1/0,225=4,44 \text{ s}$.

Si dividimos el periodo real por el periodo que debería tener el edificio, vemos que existe una proporción de 45,81. Esto es, la rigidez estructural del edificio es 1/46 veces la que debería tener. El muro de fachada se encuentra por tanto suelto, y se encuentra formado por materiales con módulos de elasticidad bajo, o muy deteriorados.

EDIFICIO C/ BUSTOS TAVERA

El proyecto contemplaba la rehabilitación de una serie de viviendas situadas en la calle Bustos Tavera número del 35 al 41. Se trata de un edificio entre medianeras, en un solar de geometría irregular.

El edificio proyectado tiene tres plantas sobre rasante, baja más dos y una planta de sótano para aparcamiento de vehículos. Se contempla el mantenimiento del muro de fachada, aunque aumentando las dimensiones de algunos de los huecos de la planta baja, con objeto de permitir la entrada de vehículos rodados al interior del edificio. También se conservan las dimensiones y disposición de los patios interiores.

El solar sobre el que se construye es el resultado de la agrupación de cuatro viviendas colindantes situadas en la calle Bustos Tavera n.º 35,37,39,41. De estas edificaciones sólo se pretendía conservar la pri-

mera crujía y fachada a la calle Bustos Tavera y los patios en ubicación y tamaño tal como se había establecido por la Comisión de patrimonio.

Antes del comienzo de las obras, el muro de fachada se encontraba arriostrado por una de sus caras por los forjados del edificio preexistente. Durante las obras, en la zona de la medianera con la casa número 33, se eliminó la primera crujía.

Los edificios que constituyen la unidad sobre la que se actúa eran de los siglos XVII Y XVIII y se encuentran reseñados en el libro *Arquitectura Civil Sevillana* de Collantes de Terán y Gómez Stern. Las características constructivas de estos edificios responden a las tradicionales de los edificios de esa época en la ciudad de Sevilla. Son edificaciones de dos a tres plantas con tipología constructiva de muros de carga de fábrica de ladrillo tomada con mortero de cal y forjados de vigas de madera tablazón del mismo material y rellenos de mortero y ladrillo, con acabado de solería también de material cerámico. Normalmente estas edificaciones han sufrido multitud de reformas (añadidos, ampliaciones) que en muchos casos dificultan la comprensión estructural de las mismas. El estado de conservación en este caso no era muy bueno existiendo un expediente de ruina del edificio de la c/ Bustos Tavera n.º 35.

Para la ejecución de la obra de nueva planta proyectada se procedió a una demolición de toda la edificación. En estos trabajos no se incluyen la primera crujía y la fachada a la calle Bustos Tavera. Antes del siniestro la fachada estaba exenta, sin los forjados de la primera crujía en el trozo que corresponde al n.º 35. Esto fue debido al estado ruinoso de esta zona que hizo imposible mantener este trozo de la primera crujía. En el resto de la fachada existían los forjados correspondientes.

El muro estaba formado por dos hojas separadas, como vemos en la figura 8.

La foto-composición (figura 9) indica el estado de la fábrica. Corresponde a nuestra mano, y es el proceso de llevarnos un trozo de ladrillo, sin ningún tipo de esfuerzo, dado el estado de los morteros. Éste es el estado general que tenía el muro de fachada.

El 28 de abril de 1998 se extrajeron las muestras necesarias por parte del personal del laboratorio, como vemos en la figura 10. Los ensayos se han realizado en el laboratorio de la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, y los datos obtenidos podemos resumirlos de la siguiente manera:



Figura 8
Detalle del muro con las dos hojas en el encuentro con la medianera del núm. 33



Figura 9
Detalle de la cohesión del mortero. Se arrancan los ladrillos con los dedos



Figura 10
Detalle de la muestra extraída por el Laboratorio

- Geometría de la fábrica
- Composición química del mortero.
- Características físico-mecánicas del mortero y del ladrillo.

No han podido realizarse ensayos de compresión de la fábrica completa, dado su estado de disgregación y composición de dos hojas no trabadas.

- Fábrica en general de pie y medio de trabazón irregular y alto aprovechamiento de ladrillos rotos (medios y tercios), tomados con mortero de cal de baja cohesión (los terrones se deshacen fácilmente con las manos, como vimos en la figura 9).
- Ladrillo macizo artesano de 255 x 102 x 52 cm
- Llagueado horizontal enrasado de 52 cm
- Llagueado vertical enrasado de 21 cm
- Inclusiones de ripios en el interior del doblado. Aspecto enjabelgado.
- Por el contenido de cal, se deduce que la fábrica puede ser del siglo XVII, por la carbonatación de la cal.
- También el análisis granulométrico de los componentes del mortero, evidencian que eran poco compactos, con gran cantidad de huecos. Las curvas granulométricas se separan claramente de la óptima compacidad: densidad aparente del mortero entre 1,33 y 1,45 g/cm³.
- El ladrillo tiene una resistencia característica de 9,75 N/mm², que supone aproximadamente 95,6 kp/cm².
- El mortero tiene una resistencia a compresión entre 0,51 y 2,75 N/mm², es decir entre 5 y 27 kp/cm².
- Con estas características, la fábrica en su conjunto tiene una resistencia aproximada según la NBE-FL-90:

$$R_{ck} = R_c - 1,64 \sigma$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_{ci} - R_c)^2}{n - 1}}$$

$$R_{ck} = 14,5 - 1,64 * 11,30 = -4,03 \text{ kp/cm}^2$$

Es decir, la dispersión de la resistencia del mortero, es tan grande, que estadísticamente llega a ser negativa. Si consideramos la resistencia mínima tenemos que es de 0,51 N/mm², aproximadamente 5

kp/cm². La resistencia combinada del ladrillo, y la del mortero, hace que la resistencia de la fábrica sea según una extrapolación de la tabla 5.1 de la FL-90, de 3-4 kp/cm² (con juntas superiores a 1,5 cm).

PROCESO A SEGUIR

- Tomar muestras de la fábrica y analizarlas en laboratorio homologado.
- Medir las características dinámicas a partir de las vibraciones producidas por el viento y el tráfico, mediante un equipo adecuado (Kinematic o similar). A partir de estas medidas dinámicas, podemos determinar el módulo de deformación, así como las condiciones de sujeción de la fábrica.
- Recoger todas las características del muro: inclusión de maderas en la fábrica, algunas de ellas de ellas completamente comidas por las termitas, restos de ripios, tejas, y tapial en el propio muro, grietas, deformaciones, etc.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS

- En muchos muros no pueden tomarse muestras de los morteros para ensayarlos a compresión simple, dada la falta de una cohesión mínima.
- La fábrica no suele ser homogénea, y se aprecian normalmente múltiples inclusiones de materiales sin resistencia, como maderas con termitas, morteros de yeso, restos de tejas y ripios, etc.
- La resistencia real que podemos asignarle a la fábrica (puesto que tiene tan pésimas características que no se han podido tomar probetas), no supera los 100-200 kPa a compresión, y prácticamente nula a tracción.
- Lo peor de toda la fábrica suele ser el mortero, que apenas tenía cal de origen, y la que tiene, ha perdido sus características cohesivas. La dosificación inicial era de 1:13 a 1:18. Es decir tiene del orden de la cuarta a la sexta parte de la cal que debería de tener, y además, es de mala calidad.
- Las medidas dinámicas del edificio sirven para confirmar la calidad de los morteros, y los huecos existentes en el muro.
- Las medidas dinámicas también confirman los apoyos de los muros, y la posible existencia de rótulas o ménsulas.

Por otra parte, los análisis por elementos finitos del estado tensional de muros, como podemos ver en la figura 11, pueden indicar:

- Existencia de zona con esfuerzos relativamente importantes (compresiones superiores a 400 kPa y 60 kPa de tracción).
- La desproporción entre lo que resiste la fábrica y las cargas reales de la estructura, justifican normalmente su estado: grietas, desprendimientos, curvaturas de paños completos, etc.
- Suelen apreciarse en los muros deformaciones probablemente por fallos de cimentación, coincidentes con saneamientos defectuosos, riadas, etc.
- En muchas ocasiones, los morteros no son tales, sino más bien áridos sueltos, y no proporcionan cohesión al conjunto.
- Deben de eliminarse los revestimientos exteriores para descubrir las zonas con elementos extraños: rellenos con maderas que han desaparecido, inclusiones de tierra, escombros, etc.
- Deben de estudiarse las grietas y fisuras, que han creado zonas sueltas en el muro, rótulas plásticas, falta de continuidad, ménsulas, etc.
- Muchos muros suelen estar formados por dos hojas paralelas sin trabazón.

Estas características de los muros hacen que en algunos casos la reparación sea imposible.

¿Cómo puede sustituirse el mortero existente en todas las llagas del muro?.

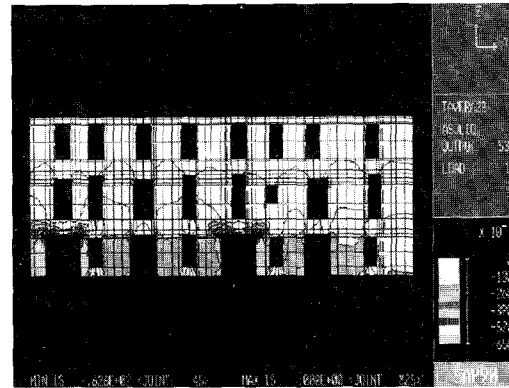


Figura 11
Tensiones de compresión en el muro de Bustos Tavera

Lo único aprovechable serían los ladrillos, insuficientes para reconstruir el mismo muro, dada la existencia de cuerpos extraños en el mismo.

Cuando se obtienen pésimos resultados de los ensayos, la propuesta de actuación no puede ser otra sino recomendar la demolición controlada y urgente del muro.

Podrían estudiarse otro tipo de soluciones, como gunitado y armado con malla exterior del muro, pero sería desvirtuar totalmente el esquema del muro, y utilizarlo como un relleno pésimo, cuando el exterior sería el nuevo material a utilizar, que tendría que aguantar además un relleno pesado, y suelto.