

CONTART 2016. La Convención de la Edificación
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica
de España, p.347-357

METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD VERTICAL EN MUROS PORTANTES DE CERÁMICA SIN ZUNCHO PERIMETRAL

MUÑOZ, GEMMA
Departamento de Estructuras
La Salle – Universidad Ramon Llull
e-mail: gmunoz@salleurl.edu

Palabras clave: rehabilitación; estructura; ladrillo; estabilidad.

RESUMEN

Los sistemas estructurales verticales más utilizados en edificación existente fueron los muros portantes de fábrica de ladrillo. Este sistema estructural no poseía cadena perimetral, o en el caso que lo hiciera se localizaba siempre por debajo del forjado, dotándola de doble función zuncho y dintel y evitando la transmisión de momentos flectores a las paredes. Pero el actual Código Técnico de la Edificación no acoge este tipo de estructuras, pues solo son de aplicación cuando el zuncho perimetral está a la misma altura que el forjado.

Este análisis propone una metodología para cotejar estas estructuras a partir de otras reglamentaciones específicas. Además, también tiene en cuenta las patologías aparecidas en la fábrica de ladrillo sustentante debido a las acciones gravitatorias. Así pues, a continuación, se enumeran una serie de comprobaciones para verificar la estabilidad vertical de los edificios, que comprende desde el básico descenso de cargas, hasta la aplicación del espesor efectivo, finalizando en comprobaciones al pandeo y esbeltez, juntamente con la aparición de excentricidades.

El principal logro es la inclusión de las paredes de traba en todos los cálculos, ayudando a ensamblar un funcionamiento estructural del conjunto del edificio más real que el de pórticos separados. La colocación elevada de paredes de traba en la construcción tradicional es la clave para el funcionamiento correcto de este sistema estructural.

1. INTRODUCCIÓN

“La más antigua de las actividades humanas, cocer la tierra, aun nos ha servido y nos sirve para nuestro lenguaje arquitectónico de hoy” (Antoni de Moragas i Gallissà. 1983) [1]

Aunque en la actualidad el uso de paredes de carga de fábrica de ladrillo se aplique primordialmente en viviendas unifamiliares de poca altura, cuando penetramos en el campo de la rehabilitación, advertimos que esta solución constructiva constituye la mayoría de nuestras intervenciones. Nuestro parque edificatorio alberga este sistema estructural vertical, hallando generalmente edificios que satisfacen alturas de más de 5 pisos y en algunas ciudades alcanzando, con gran atrevimiento, cerca las 10 plantas.

Este sistema no gozaba de cadena perimetral, o en el caso que lo hiciera, esta no estaba configurada tal y como hoy en día la comprendemos. Hasta mediados de los años 20, no apareció ningún tipo de cadena de atado, pero en torno a esta época, coincidiendo con la entrada del hormigón en España, surgieron puntualmente y progresivamente edificios con cadena perimetral. Aun así, la cadena se localizaba siempre por debajo del forjado, tal y como se puede observar en la figura 1, pues la intención del arquitecto era el atado de la pared, pero nunca la transmisión de solicitaciones, evidenciando siempre un comportamiento isostático del conjunto. En algunos casos este anillo poseía una doble función, la de zunchar y la de dintel.

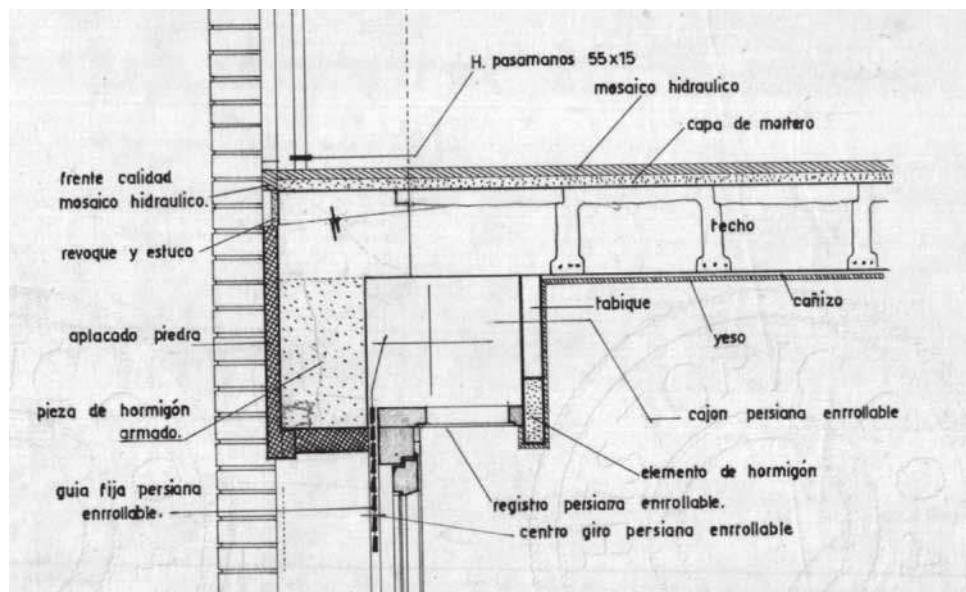


Figura 1. Detalle zuncho de hormigón armado. Edificio Balmes 295 Barcelona. Arquitecto: Lluís Nadal. 1962.

Este sistema estructural fue comúnmente utilizado hasta principios de la década de los setenta, concretamente hasta el año 1972. El 20 de abril de 1972 se aprobó la normativa MV-201 “Muros resistentes de fábrica de ladrillo”[2] para regular las condiciones que debían cumplirse. Esta normativa obligó por primera vez en España la colocación de

zuncho perimetral a la misma altura que el forjado, y amplió las condiciones de estabilidad de las paredes de carga frente a acciones horizontales.

Para entender el cambio estructural en este tipo de estructuras, debemos analizar los puntos peculiares surgidos en dicha normativa. La reglamentación exigía unas condiciones especiales para la combinación de forjados unidireccionales con paredes de carga. La razón es la mejora en el atado entre forjado y muro, para aumentar su resistencia frente a acciones horizontales tales como viento o sismo. De las características publicadas, se producen tres grandes cambios:

1. Obligatoriedad de colocación de capa de compresión armada.
2. Obligatoriedad de colocación de zuncho de hormigón armado a la misma altura que el forjado.
3. Continuidad en la colocación de paredes de traba.

La obligación de dichas condiciones recae en la aparición de varios accidentes durante la construcción de edificios con muros sustentantes, en la mayoría de casos debido a la reducción de las paredes perpendiculares de traba y la falta de rigidez de las uniones. Pero mientras este cambio provocaba una mejora frente al sismo y al viento y a la estabilidad global del edificio, al mismo tiempo producía un aumento de sollicitaciones en la pared de carga, alterando un sistema tan básico que funcionaba perfectamente a compresión. Las uniones con zuncho a la misma altura que el forjado se consideran rígidas o semirígidas.

Cabe destacar que una construcción tan arraigada como las paredes de carga fue uno de los últimos sistemas estructurales en gozar de reglamentación específica. Mientras en los años 50 se aplicaron las normativas para el hormigón y la cerámica armada; y el acero, no fue hasta veinte años más tarde que el sistema de estructuras de paredes de carga no obtuvo su propia reglamentación. [3]

De forma parecida ha ocurrido actualmente la inclusión de estas estructuras al CTE. Mientras los materiales estructurales madera, hormigón, y acero gozan de documento específico en el CTE, las paredes de carga de ladrillo sin zuncho perimetral quedan fuera del ámbito de aplicación del documento DB SE-F4.

El objetivo del presente estudio es proponer un método de verificación de la estabilidad estructural de las paredes de carga de fábrica de ladrillo frente a las acciones gravitatorias, para poder así realizar un análisis detallado e idóneo que sitúe en rehabilitación de estas estructuras al mismo nivel que otras.

Estado de la cuestión

La mayoría de libros y estudios realizados para la verificación de muros portantes se basan en la aplicación del CTE. Pero para paredes sin zuncho es necesario basarse en teorías generales de la época [5], así como estudios actuales sobre el sismo [6]. La combinación de las estructuras y rehabilitación ha proporcionado varios ejemplos detallados de verificación, uno de ellos es “Guía para edificios protegidos” realizado por la Universidad Politécnica de Cataluña y el Ministerio de Vivienda [7], que, aunque no es específica de fábrica de ladrillo, empieza a enumerar algunos cálculos. Otro ejemplo es la redacción de manuales de rehabilitación por parte de organismos de la construcción [8] [9].

2. METODOLOGÍA

2.1 GENERALIDADES

Para la búsqueda de un sistema de verificación, se ha procedido al estudio de normativas internacionales, tales como los eurocódigos [10], las normativas UNE españolas, las normativas inglesas “Code of practice” [11] y la normativa alemana DIN[12]. La reglamentación más importante y específica encontrada es el Eurocódigo, documento de obligado cumplimiento en muchos países como Reino Unido. Su constitución se realizó a principios de los años 90, y numerosos consultores de estructuras españoles lo utilizaban cuando no había normativa de aplicación en algún sistema estructural. Este fue el caso de las estructuras de madera hasta la aparición del CTE, y aún lo es de los forjados colaborantes.

Entendiendo dichos reglamentos y el funcionamiento estructural de los sistemas murales, así como la tipología de patologías y lesiones observadas en este tipo de estructuras, se ha desarrollado un método de verificación de la estabilidad estructural frente acciones gravitatorias en edificios de paredes de carga sin cadena perimetral.

2.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

A partir de la casuística problemática en paredes de carga debido a acciones gravitatorias, y estudiando con detenimiento diferentes métodos de verificación, se enumera un listado de comprobaciones a realizar para confirmar la estabilidad de estas estructuras frente a acciones verticales. En la siguiente figura detalla un ejemplo de paredes de carga en un edificio propio de la época.

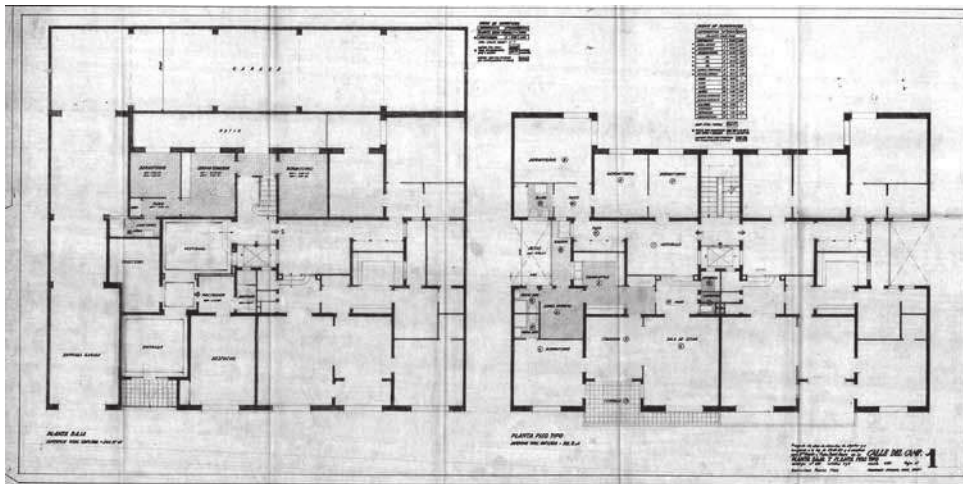


Figura 2. Pl. baja y tipo edificio calle del Camp Barcelona. Arquitecto: Francesc Mitjans. 1950.

La elección esencial del método recae en el funcionamiento estructural de estas estructuras, que funcionan como un todo a partir de las paredes de traba y pilstras

localizadas en casi todas las plantas. Así mismo, si observamos en planta el sistema estructural de un edificio cualquiera de estas características, visualizamos la aparición de una configuración entrelazada de paredes, que no solo proyectaba los espacios interiores, sino que dotaba de gran rigidez al conjunto.

Es por esta razón, basándonos en el funcionamiento estructural de traba, que se han escogido los siguientes cotejos. A continuación, se realiza una recapitulación de todos ellos:

El grueso efectivo del elemento estructural

Una de las primeras verificaciones a realizar es el estudio del grueso efectivo de la fábrica. La sección que soporta las solicitaciones a compresión del edificio, depende de la forma de esta. Es decir, mientras una estructura porticada contiene una proporción regular en ambos ejes planos de los pilares, las paredes de carga son desproporcionadas entre su grueso y su superficie de reparto de cargas.

Pero estaríamos erróneos si contabilizáramos tan solo el grueso de ella sin tener en cuenta las paredes perpendiculares que la atracan. La pared no trabaja sola, sino lo hace en conjunto. Y es por esta razón que este sistema estructural funciona tan bien a compresión.

Examinando el Eurocódigo nº 6, advertimos la importancia del grueso, en el llamado “espesor efectivo”, valor condicionado al número de paredes de traba y pilastras que atracan al elemento estructural, objeto de estudio.

Así pues, según tabla 1 adjunta se puede tener en cuenta hasta el doble de espesor de la pared dependiendo de la separación entre ejes de pilastras y la profundidad de estas. A más pared de traba sin huecos en ella, más grueso de pared y por tanto de resistencia.

Tabla 1. Coeficiente de rigidez para muros con trabas o pilastras

Relación separación ejes / anchura pilastras	Relación profundidad pilastra/espesor real muro unido		
	1	2	3
6	1,0	1,4	2,0
10	1,0	1,2	1,4
20	1,0	1,0	1,0

Nota: se admite la interpolación lineal de estos valores

Cabe tener en cuenta que, la configuración de este tipo de construcciones es notablemente rígida hallando detalles constructivos como los siguientes:

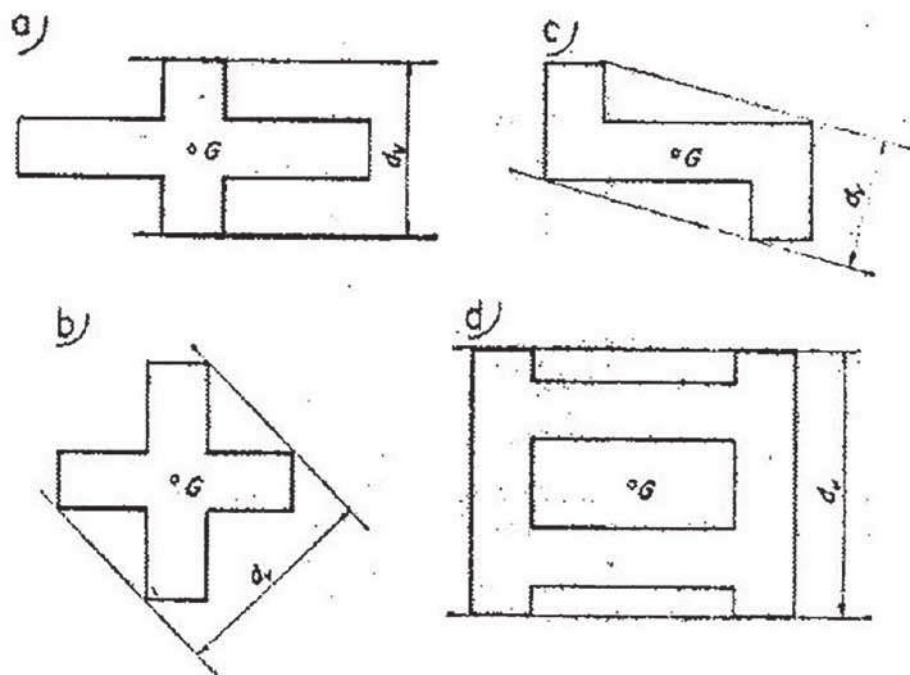


Figura 3. Rigidez en planta.

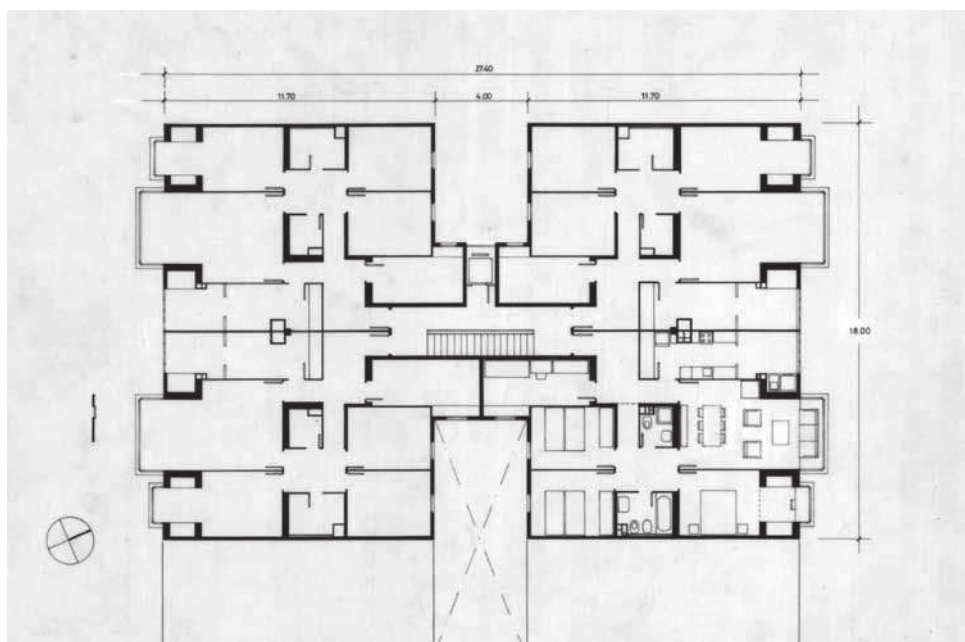


Figura 4. Pl. tipo edificio calle Lepanto 307 Barcelona. Arquitecto: Lluís Nadal. 1964.

Resistencia de la fábrica

Una de las posibles lesiones en fábrica es la falla por compresión, principalmente localizada en tramos con carga excesiva, tales como machones, pilares, o muros entre huecos. Su comprobación recae en la suma de cargas soportadas en dicho tramo. Es muy importante realizar el estudio de transmisión de cargas lo más real posible teniendo en cuenta el arco de descarga que produce la fábrica de ladrillo.

El estudio se centra en las cargas permanentes y variables, sin aplicar coeficientes de seguridad, para posteriormente establecer el grado de confianza. Así pues, se realiza la comprobación básica a compresión a partir de la sección del tramo:

$$\sigma = F / A \quad (1)$$

Siendo σ la resistencia de cálculo de la fábrica, F las cargas reales y A la sección del tramo. Para el cálculo de la sección, se puede utilizar el espesor efectivo anteriormente citado.

También es aconsejable el estudio por metro cuadrado de cargas en cada planta, para verificar la carga que recibe la cimentación, y cotejar que las cargas sean aceptables para edificios comunes de viviendas. Cabe destacar que en este tipo de edificios las cargas máximas a soportar en cimentación se sitúan entre los 100 a 120 kN/m² (1.00 – 1.20 kg/cm²), y en el caso de edificaciones antiguas posiblemente menores resultados.

El pandeo en estructuras de fábrica de ladrillo

En relación a la anterior premisa otra de las patologías comunes de este tipo de estructuras es la aparición de problemas por pandeo, debido a su elevada esbeltez. Para dicho cálculo la fórmula utilizada es la ecuación básica de pandeo de Euler:

$$F = \pi^2 E I / K L^2 \quad (2)$$

Siendo:

F = La carga máxima admitida o carga crítica

E = Módulo de elasticidad o módulo de Young

I = Área del momento de inercia (según sección de menor inercia)

L = Altura de elemento estructural

K = Altura efectiva del elemento estructural

Para ambas uniones apoyadas: K = 1.0

Para ambas uniones empotradas: K = 0.5

Para una unión empotrada y otra apoyada: K = 0.7

Para una unión empotrada y la otra libre: K = 2.0

K L = Altura efectiva del elemento estructural

En nuestro caso, al no estar el forjado atado a las paredes de carga, obtenemos uniones apoyadas, que nos configura la altura efectiva igual a la altura real. La inercia la adjudicamos teniendo en cuenta espesor efectivo.

A falta de un valor determinado mediante ensayos según la Norma EN 1052-a [13], el Eurocódigo nos proporciona el módulo de elasticidad de la fábrica E , en función de su resistencia, simplificándolo a:

$$E = 1000 \sigma \quad (3)$$

El valor de su deformabilidad es proporcional a la resistencia, característica común en todos los sistemas estructurales. La deformación, pero, varía con el tiempo, y el valor obtenido es la deformabilidad instantánea, que en el caso de la rehabilitación se tendrá que corregir por los efectos de la fluencia para encontrar el módulo de elasticidad final. Los valores que se obtienen son aproximadamente la mitad de los instantáneos. Y es que la fábrica ejecutada es frágil y poco deformable.

La esbeltez en estructuras de fábrica de ladrillo

Acorde a la problemática anterior hay otro problema relacionado con la altura excesiva del elemento estructural y su reducido grosor que también provoca graves problemas. Mientras el pandeo se rige según la elasticidad del material y su inercia, la esbeltez es un factor directamente proporcional entre la altura del elemento y espesor.

La normativa BS 5628 del Reino Unido [14], país con numerosos edificios construidos de fábrica de ladrillo, adjunta una tabla a partir de ensayos que relaciona la problemática de la esbeltez en función de la altura y grosor de la fábrica, ambos valores teniendo en cuenta sus valores efectivos. El valor de β que se obtiene, es un valor de reducción de la carga a soportar en la zona de estudio.

Tabla 2. Ratio para la esbeltez

Ratio h_{ef} / t_{ef}	β
0	1.00
46	1.00
8	1.00
10	0.97
12	0.93
14	0.89
16	0.83
18	0.77
20	0.70
22	0.62
24	0.53
26	0.45
27	0.40

La excentricidad de las paredes de carga

El último concepto y no menos importante en las paredes sustentantes, sobre todo con luces variables y paredes de exterior, es la problemática de la excentricidad en el descenso de cargas.

El caso más dificultoso es el de las paredes exteriores o medianeras, en que la entrega del forjado ya produce una excentricidad inicial, que se va disipando en la posible excentricidad interior del paramento. Cabe destacar que, aunque no sea objeto del presente documento el estudio de cargas horizontales, la aplicación de estas al muro, produce una mayor excentricidad.

3. RESULTADOS

Desde un punto de vista analítico, este sistema estructural obtiene buenos resultados por tener en cuenta el grueso efectivo. Los resultados mejoran frente a pandeo, esbeltez y excentricidad.

La rigidez en la estructura es una de las principales características a tener en cuenta para la verificación estructural de un edificio. Así pues, los edificios construidos hasta los años 70 aportaban dicha rigidez a partir de la colocación de trabas, otorgando al conjunto en planta de estabilidad.

La metodología obtenida para cotejar este tipo de estructuras se basa en una comprobación paulatina de su posible problemática. El proceso es el siguiente:

1. Listado de cargas – Descenso de cargas.
2. Busca de las zonas más tensionadas del edificio.
3. Cálculo del grueso efectivo.
4. Cálculo de la altura efectiva.
5. Comprobación al pandeo.
6. Comprobación a esbeltez.
7. Estudio de excentricidades.

Dichos resultados analíticos serán siempre equiparados a las lesiones estructurales manifestadas (verificación empírica), para demostrar que ambos resultados sean parecidos. A partir de la metodología anteriormente citada se inicia el cálculo a través del grueso y la altura efectiva, obteniendo valores acordes con el comportamiento estructural real del edificio. Dichos parámetros tienen en cuenta las paredes paralelas de traba, aumentando la rigidez del conjunto.

4. CONCLUSIONES

La razón principal del cumplimiento del sistema estructural es la reducida transmisión de cargas, debido a pequeñas luces de forjados. Y aunque en los años 50 estas fueron notablemente ampliadas, se compensaron con la inclusión de elementos rígidos como pilares y pórticos de hormigón.

La segunda razón y no menos importante, es la ubicación elevada de paredes de traba tanto para la construcción tradicional como para la arquitectura del desarrollismo, que fue la clave de la gran durabilidad de estas estructuras. La colocación de dichas trabas provoca el aumento del grueso efectivo y por tanto la aceptación de más carga concentrada, relacionando esta verificación a la anteriormente citada.

El tercer punto a tener en cuenta es la rigidez, pero estudiada desde el conjunto en planta, nunca desde el elemento estructural aislado, muy parecido al concepto general aplicado en el método cálculo Cross [15]. Cabe destacar que esta rigidez en planta mejora el pandeo y la esbeltez, y aumenta la estabilidad frente a las acciones horizontales, un tema que, por su grado de complicación, es necesario de otro estudio paralelo.

Finalmente, aunque la construcción isostática provoca la reducción de estabilidad del conjunto frente acciones horizontales sobre todo en sismo, funciona gratamente frente a las verticales. Una prueba de ello se refleja en el CTE DB SE-F, en que, debido a la obligatoriedad de colocación de zuncho de atado, se exige la comprobación del momento flector proveniente del forjado; evaluando si dichas paredes de carga tienen suficiente resistencia a flexión para soportarlo. Las estructuras isostáticas, en cambio, transmiten solo carga vertical, siendo su funcionamiento esencial en rehabilitación. La colocación de elementos perpendiculares permite la absorción parcial de la carga del viento, mejorando así mismo la estabilidad del conjunto. Mientras para las gravitatorias provoca que el edificio trabaje tridimensionalmente, para las de viento aumenta generosamente la inercia del conjunto.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Antonio de Moragas Gallissà. Hem de parlar. (1983) *Revista Diagonal* 35. Entrevista realizada por Josep Muntanyola.
- [2] MV 201/72 Muros resistentes de fábrica de ladrillo (1972). Aprobada por Decreto 1324/1972, de 20 de abril de 1972.
- [3] Paricio Ansuategui, I. (1977) La fábrica de ladrillo. *CAU: construcción, arquitectura y urbanismo* n° 41., 60-77.
- [4] DB SE – F Seguridad estructural. Fabrica. (2006).
- [5] **Teorías generales de estructuras de ladrillo de la época**
Bergós, J. (1953). *Materiales y elementos de construcción: estudio experimental*. Editorial Bosch
Cassinello, F. (1964). *El ladrillo y sus fábricas*. Manuales y Normas del Instituto Eduardo Torroja.
Lahuerta, J., Rodríguez L.F. (1962). *Muros de fábrica de ladrillos: normas y estudios extranjeros para su proyecto y ejecución*. Ministerio de la Vivienda, Secretaría General Técnica, Madrid
Hendry, A. W. (1990). *Structural masonry*. MacMillan.
- [6] **Paredes de carga frente al sismo**
Caicedo, C. (1993), Vulnerabilidad sísmica en zonas urbanas. Aplicación a un sector del Ensanche de Barcelona. Tesis doctoral UPC. Barcelona.
Yépez, F., Barbat A.H., Canas J.A., (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*, Monografía CIMNE.
Bonett Díaz R. L., (2003) Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios: aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta i moderada. Tesis doctoral UPC. Barcelona.
- [7] González J.L., Casals A., García-Morales S., Dotor A., Onecha B., Rovira S., Roca P., Arriaga F. (2007). *Aplicación del CTE a las obras de Restauración Arquitectónica*. Ministerio de vivienda.

- [8] Paricio Ansuategui, I., Gibernau Ponsà, L. (2011). *La redacción de los Manuales R con las comunidades autónomas*. ITEC, Secretaria de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas.
- [9] Roca Fabregat, P. (2011). *Estructuras y patrimonio cultural. Análisis, conservación y restauración*. Ingeniería y territorio. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [10] Eurocódigo 6: Proyecto de estructuras de fábrica. EN1996-1-1. Reglas Generales y Reglas para Edificación (1996).
- [11] Code of practice. BS. Superseded, Withdrawn
- [12] DIN. Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización). El DIN fue establecido el 22 de diciembre de 1917 como Normenausschuss der deutschen Industrie (NADI). La editorial Beuth-Verlag
- [13] UNE-EN 1052-1:1999. Métodos de ensayo para fábricas de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión. 1999-04-30 (1999).
- [14] BS 5628-3:2005. Code of practice for the use of masonry. Materials and components, design and workmanship (2005) Withdrawn
- [15] Método de Cross Hardy Cross fue un ingeniero de estructuras estadounidense y el creador del método de cálculo de estructuras conocido como método de Cross o método de distribución de momentos, concebido para el cálculo de grandes estructuras de hormigón armado.