



**FILOSOFÍA BÁSICA PARA EL  
DISEÑO DE CONSTRUCCIONES RESISTENTES A SISMOS.**

**Pedro Garcés<sup>1</sup>, Luis García Andión<sup>1</sup>, Salvador Ivorra<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Dpto. de Ing. de la Construcción, Obras Públicas e I.U. Universidad de Alicante, España.**

**RESUMEN**

En esta comunicación se pretenden recoger de una forma resumida los conceptos básicos para el diseño de construcciones resistentes a sismos, haciendo especial hincapié en aquellas consideraciones específicamente considerables para viviendas de bajo coste tradicionalmente construidas con mampostería, madera o una combinación de ambas. Partiendo de la máxima que una estructura mal calculada/no calculada bien arriostrada es capaz de absorber las acciones estructurales que se le puedan presentar en su vida útil, esta será una de las consideraciones importantes en el diseño, junto con la flexibilidad, la ductilidad, la simetría estructural y su simplicidad constructiva.

**DISCUSIÓN**

Se describen los efectos ocasionados por sismos en estructuras simples de mampostería, indicando –en base a bibliografía- reglas sencillas de diseño.

**Palabras:** Sismo, construcción económica, refuerzo, mampostería, adobe

**ABSTRACT**

The purpose of the present paper is to present in a short text the basic concepts required for the design of seismic resistant constructions, with special emphasis in aspects related to low-cost housing facilities built with materials such as block/adobe masonry, timber or a combination of both. Based on the idea that a poorly calculated (or not calculated at all) structure if properly braced should be able to resist important actions that can occur along the service life. This shall be one of the most important design considerations along with the structural flexibility, ductility, mass and structural symmetry and all with building simplicity. The seismic condition consists in an action applied to the construction foundation and then is transferred by the relevant structural elements to the rest of the building. The purpose of these recommendations is to avoid both the global collapse of the construction under intense earthquakes and a relevant deterioration of the building under low intensity earthquakes.

**DISCUSSION**

The effects caused by earthquakes in simple structures of masonry are described, indicating - based on bibliography - simple rules of design.

**Keywords:** Earthquake, cheap construction, structural reinforcement, masonry, adobe

## 1. Efectos que originan los sismos sobre las estructuras.

Tal y como es sabido, el sismo origina una oscilación en el terreno. Dado que los edificios suelen descansar sobre él, este experimentará un movimiento inducido en su base. A partir de la primera Ley de Newton, aunque la base del edificio tienda a desplazarse, la cubierta tiene una tendencia a quedarse en su posición original. Dado que entre cubierta y cimientos existen una serie de elementos estructurales que los conectan: pilares y muros, estos experimentarán una serie de esfuerzos originados por el diferente movimiento de su parte superior y su parte inferior. (Fig. 1).

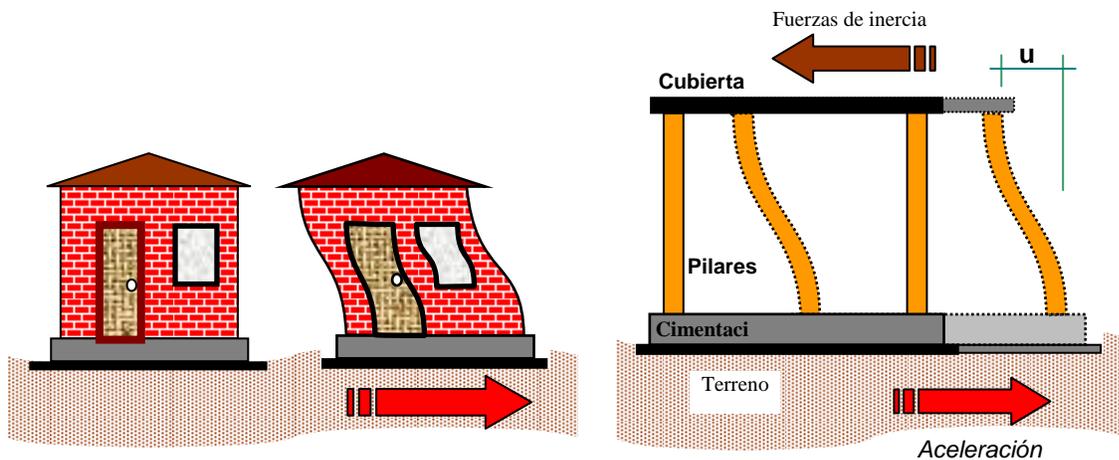


Fig. 1: Efecto de las fuerzas de inercia en un edificio cuando oscila su base

Fig. 2. Fuerzas de inercia y movimiento relativo en un edificio

Si consideramos un edificio cuya cubierta se apoya en columnas (Fig. 2), aparecerán unas fuerzas de inercia en cabeza de los pilares que originarán unas fuerzas en sentido contrario a la excitación del sismo. A partir de la segunda Ley de Newton, el valor de esta fuerza dependerá de la masa de la cubierta, de la aceleración. Claramente más masa significa unas fuerzas de inercia más altas: *Los edificios más ligeros resisten mejor al sismo.*

De igual modo, como consecuencia de la diferencia de movimientos entre base y cabeza de estas columnas aparecerán una serie de esfuerzos en su interior con el fin de garantizar la continuidad de la estructura. A partir de los principios básicos de la mecánica de materiales, los esfuerzos serán tanto mayores en las columnas cuanto más rígidas sean estas, por consiguiente, la deformabilidad o la rigidez del edificio será también una condición importante en la capacidad resistente de este frente a acciones sísmicas: *Cuanto más rígido sea la estructura, mayores esfuerzos tendrá que absorber.*

Como contrapartida, los edificios flexible sufren desplazamientos horizontales relativos más grandes que pueden producir daños en elementos no estructurales, como por ejemplo ventanas,

cerramientos, etc. Estos daños no afectan a la integridad estructural del edificio, pero pueden causar pérdidas económicas, lesiones y pánico entre sus residentes.

Los terremotos causan movimientos de la tierra en las tres direcciones: en dos direcciones ortonormales horizontales y en la dirección vertical. Dado que el diseño habitual de las construcciones es el de transmitir las cargas gravitatorias a cimentación, se encuentran correctamente diseñadas para poder absorber las acciones sísmicas verticales, salvo en casos muy singulares como estructuras con grandes luces y/o voladizos, puentes, ...

## 2. Influencia de los esquemas arquitectónicos de diseño.

La configuración arquitectónica, tanto en planta como en alzado ha de permitir que los esfuerzos originados por la acción sísmica se transmitan correctamente desde la cubierta a la cimentación presentado mecanismos de transmisión conocidos. Dado que la dirección en planta del sismo hacia la estructura puede proceder en una dirección cualquiera, la configuración lo más simétrica posible permite diseñar este mecanismo de transmisión lo más optimizado posible. (fig. 3). Frente a configuraciones no simétricas en planta, se pueden presentar efectos de torsión global que pueden complicar la transmisión de esfuerzos de una a otra parte de la estructura.

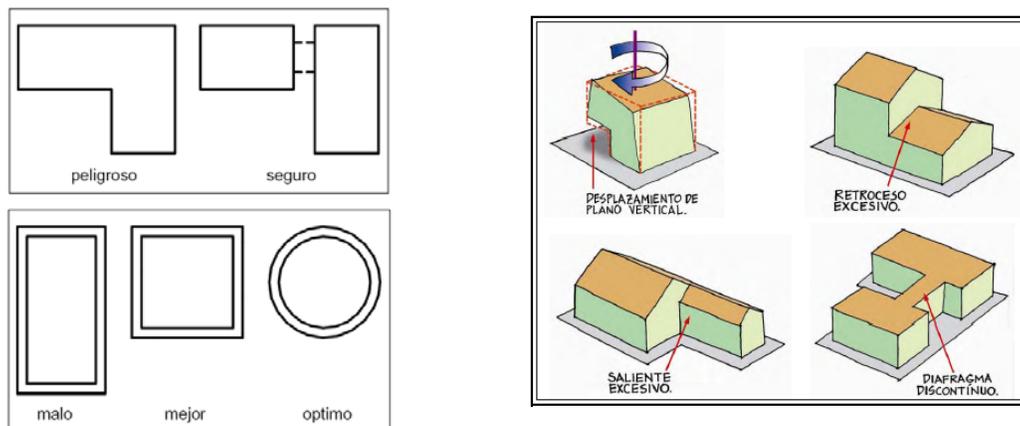


Fig. 3. Distintas configuraciones en planta de la estructura.

Esta falta de simetría puede ocasionarse, no solo por la falta de simetría geométrica, sino por la no coincidencia del centro de esfuerzos cortantes del edificio –en planta– con el centro de gravedad de este, es decir la existencia de núcleos o zonas más rígidas que otras en la estructura (Fig. 4), como consecuencia pueden presentarse fenómenos de torsión en la estructura como consecuencia de la acción sísmica. Bajo estas consideraciones deben evitarse

De igual modo una proximidad elevada entre construcciones con distinta rigidez puede implicar conexiones y contactos entre ambas cuando se produzca la acción sísmica. (Fig. 5).



Figura 4.- Existencia de cambios de rigidez importantes en la estructura.

Otro de los graves problemas que suelen detectarse en la configuración arquitectónica es la existencia de pilares cortos, estos elementos poseen una gran rigidez y por consiguiente absorben un gran esfuerzo cortante durante el sismo, es por ello por lo que pueden llegar a colapsar frente a esta acción. Este fenómeno suele darse también en las ocasiones en las que existen plantas blandas, es decir que exista un gran cambio de rigidez en altura de la construcción, con lo que los elementos estructurales de esta planta necesariamente absorben esfuerzos mucho mayores que sus respectivos en plantas inferiores o superiores.



Fig. 5.-Cambios de rigidez elevados pueden implicar contactos durante la acción sísmica.

Aparte de características generales de configuración arquitectónica existen otras muchas particularidades de la tipología estructural escogida y del tipo de material base de la construcción: madera, mampostería, acero u hormigón armado. Pudiéndose destacar como característica común a todas ellas la existencia de una correcta conexión entre todos los elementos estructurales y la cimentación, así como un atado completo de todos los elementos que configuran la cimentación. Este atado permitirá que no existan desplazamientos relativos horizontales entre bases de pilares que aumentarían los esfuerzos que



Figura 6.- Existencia de cambios de rigidez importantes en la estructura.

se presentan entre ellos. Deben por tanto diseñarse elementos que conectes la cimentación a la estructura portante a fin de evitar deslizamientos de la estructura y la cimentación. Este tipo de conexiones debe también garantizar la transmisión de esfuerzos entre plantas intermedias de una misma edificación.

### 3. Comportamiento sísmico edificios de mampostería

Los edificios de mampostería son estructuras relativamente frágiles y una de las construcciones más vulnerable frente a la acción sísmica. Este hecho se corrobora con el hecho de las numerosas víctimas de terremotos existentes en este tipo de construcciones en Sudamérica, India o el Norte de África.

Como es bien conocido, la capacidad resistente a tracción de la mampostería, sillería o incluso las estructuras de adobe es muy reducida. Los esfuerzos introducidos por la acción sísmica introducen esfuerzos cortantes importantes en los muros de carga que se traducen en compresiones y tracciones en las direcciones principales de estos muros. (Fig. 7). La solución a este problema será dotar de elementos capaces de absorber los esfuerzos que se presentan en estas direcciones. Los materiales empleados para esta función pueden ir desde la madera, el acero, o bien atados con correas de hormigón armado.

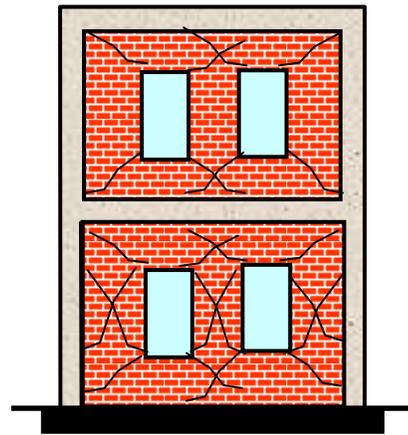


Fig. 7. Clásicas grietas a 45° que se presenta en muros de mampostería como consecuencia de un sismo

Los muros de mampostería son delgados debido a su pequeño espesor comparado a su altura y longitud. Una manera simple de hacer que estas construcciones se comporten bien frente a la acción sísmica es que el conjunto de muros trabajen como una caja solidaria junto con la cubierta. Se exigen varios aspectos constructivos para asegurar estos resultados:

- las conexiones entre muros deben ser buenas. Esto se puede lograr por un machihembrado de las uniones entre muros, y
- empleando las atados horizontales a los varios niveles, particularmente al nivel del dintel. Secundariamente, los tamaños de puerta y aperturas de la ventana necesitan ser atados pequeños. En tercer lugar, la tendencia de una pared a volcar cuando empujó en la dirección débil puede reducirse limitando su esbeltez. Un muro que es demasiado alto o demasiado largo comparado con su espesor, es particularmente vulnerable a movimientos en su dirección débil.

A partir de estas condiciones de atado, la figura 8 presenta los errores más habituales observados en la construcción de construcciones de una sola planta mediante mampostería, adobe o similares.

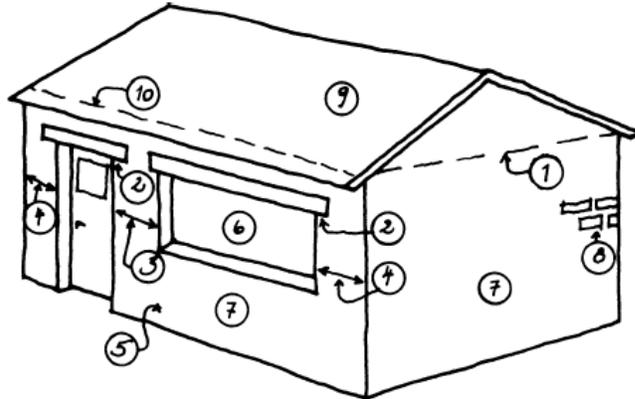


Fig. 8. Errores de diseño en construcción de una sola planta

- 1 Ausencia de refuerzo horizontal (encadenado, collarín o zuncho).
2. Los dinteles no penetran suficientemente en la mampostería.
- 3.- El ancho del muro entre los vanos de la ventana y la puerta es demasiado angosto
4. El ancho entre los vanos de la ventana y la puerta en relación a las esquinas es demasiado angosto
5. Ausencia de un sobrecrecimiento (zócalo)
6. El vano de la ventana es demasiado ancho
7. El muro es muy largo y delgado sin tener elementos de estabilización.
8. La calidad de la mezcla del mortero es pobre (con una baja capacidad aglutinante), las uniones verticales no están completamente rellenas, las uniones horizontales son demasiado gruesas (más de 1.5 m).
9. La cubierta es demasiado pesada.
10. La cubierta tiene un arriostramiento débil con el muro

Los principales daños que se observan habitualmente en este tipo de estructuras como consecuencia de la acción sísmica (fig 9) suelen venir ocasionados por la falta de atados. Con el fin de adaptar construcciones existentes para poder soportar la acción sísmica pueden introducirse “a posteriori” elementos de madera o metálicos, suficientemente conectados al resto de la estructura, de tal forma que garanticen el movimiento solidario de toda la estructura.



Fig. 9. Daños ocasionados por un sismo en estructura de mampostería sin atados.

Las figuras 8 y 9 presentan la solución constructiva empleada para solucionar este problema mediante zunchos de atado de hormigón armado en una construcción de una sola planta en La India.

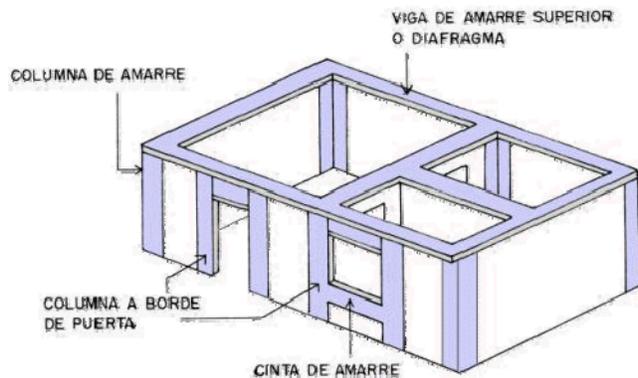


Fig. 10. Recomendaciones de la Asociación Colombiana de ingeniería sísmica



Fig 11. – Construcción de mampostería sismorresistente en La India

### 3. Conclusiones

Como conclusión de este trabajo se puede afirmar que la elección de los materiales, la tipología constructiva y la configuración arquitectónica son elementos claves en el diseño sismorresistente de una construcción. Para el caso de estructuras de mampostería, se comprueba que es completamente necesaria la utilización de arriostramientos que garanticen el movimiento solidario de todos los elementos que configuran la estructura.



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México  
Del 12 al 14 de Noviembre



### Referencias

#### Figuras

Figura 1: [1]

Figura 4: [2], [3]

Figura 7: [1]

Figura 10: [3]

Figura 2: [1]

Figura 5: [3]

Figura 8: [2]

Figura 11: Jesús Gil

Figura 3:

Figura 6: [3]

Figura 9: Jesús Gil

1. Earthquake Tips (2005). National information center of earthquake engineering. Indian Institute of Technology Kanpur (India)
2. Gernot Minke (2005) Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Forschungslabor für Experimentelles Bauen. Universidad de Kassel, Alemania
3. Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. Asociación colombiana de ingeniería sísmica. Presidencia de la República Colombiana.
4. Svetlana Brzev (2007), Earthquake-resistant confined masonry construction. National information center of earthquake engineering. Indian Institute of Technology Kanpur (India)
5. Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction. (2004) Reprinted in June 2004 in India by the National Information Center of Earthquake Engineering, IIT Kanpur, Kanpur-208016, India with permission from