

TERREMOTOS Y EDIFICIOS. UNA HISTORIA COMÚN

Dr. José Manuel Martínez Solares
Jefe del Área de Geofísica del Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento
jmmsolares@fomento.es

Terremotos y edificios. Una historia común

Resumen

Los documentos confeccionados como consecuencia de algunos de los terremotos más importantes ocurridos en épocas históricas (siglos XVI a XIX), permiten observar la evolución que ha tenido el conocimiento de las técnicas constructivas y urbanísticas de las ciudades. También iban acompañados de teorías sobre la causa y origen de los terremotos, basadas algunas en ideas sobrenaturales que con el tiempo se fueron modificando hacia planteamientos más científicos. Los informes sobre los terremotos ocurridos iban reflejando las diferentes hipótesis que justificaban los daños ocasionados y aportaban soluciones muy específicas, como la búsqueda de un nuevo emplazamiento, las características del terreno, el proyecto urbanístico, la ejecución de la construcción o la elección de los materiales. Asimismo, a finales del siglo XIX, se redactan reglamentos constructivos con criterios legales, que pueden considerarse como los antecedentes de la actual normativa.

Palabras clave: terremotos, edificios, normativa sismorresistente.

EARTHQUAKES AND BUILDINGS. A COMMON HISTORY

Abstract

The documents elaborated as a consequence of some of the more important earthquakes occurred in historical periods (XVI and XIX centuries), allowed us to observe the evolution that has taken place in the construction and urban techniques of the towns. They also incorporated the theories about the cause and origin of the earthquakes, some of them based on supernatural ideas that with the pass of time were being changed to more scientific concepts. The reports of the earthquakes reflected the different hypothesis that justified the damage caused and gave very specific solutions as the search of new emplacement, the ground characteristics, the urban project, the construction implementation or the material election. Also, at the end of the XIX century there were written construction rules with legal criteria, which can be considered as the preceding of the present normative.

Keywords: earthquakes, buildings, seismic codes.

Introducción

Florián de Ocampo, historiador español del siglo XVI, cuenta en su Crónica General de España que “quinientos cabales (años) antes del advenimiento de nuestro Señor Dios hubo grandes terremotos en toda la costa de mar donde suelen ser mas continuos que por otra parte, como lo declaran los filósofos naturales. Y fueron tan espantosos aquellos temblores, que muchas casas y cercas de pueblos cayeron, muchos ríos corrieron por otras partes diversas de las que solían...” (Galbis, 1932)

Este tipo de relatos los podemos encontrar también en multitud de textos referidos a terremotos ocurridos en otros lugares de la Tierra. Es indudable el grado de influencia que en el desarrollo de la sociedad han tenido estas catástrofes, pues a pesar de haber producido algunos millones de víctimas a lo largo de la historia humana, han permitido al hombre mejorar su supervivencia perfeccionando la forma y el lugar donde construir las ciudades y los edificios. Por desgracia, el problema no está resuelto definitivamente y continua siendo una realidad en muchos países, donde sismos recientes han puesto de manifiesto serias dificultades para conseguirlo, fundamentalmente de carácter económico.

Un ejemplo de la sucesiva mejora en el conocimiento constructivo lo podemos encontrar en Sevilla, donde un terremoto del año 1079 produjo la caída de la parte más elevada de la torre de la Iglesia de San Salvador, que reconstruida volvió a colapsar con otro posterior en 1356 y, vuelta a recomponerse por segunda vez, sin embargo, no se repitieron los daños ni con un terremoto en 1504, ni con el gran sismo de

Lisboa de 1755 (Gentil, 1989). Asimismo, la destrucción de las ciudades a causa de estos fenómenos han supuesto su desplazamiento a otros lugares, como ha sucedido varias veces con la ciudad de Guatemala a lo largo de su historia, lo que en cierto modo mejoraba su distribución urbanística y su calidad constructiva, si bien un cambio de ubicación podría generar problemas de tipo socioeconómico en sus habitantes.

Paralelamente y de forma conjunta a las enseñanzas que proporcionaban los terremotos, el conocimiento de la sismología fue también evolucionando. Las diferentes teorías sobre el origen de los terremotos transcurren desde aspectos puramente religiosos al considerar su ocurrencia un fenómeno sobrenatural como castigo de Dios, hasta las teorías aristotélicas en las que se afirmaba que estaban producidos por exhalaciones en las cavernas del interior de la tierra que al tratar de escapar removían el suelo. A finales del siglo XVII se formulan nuevas hipótesis sobre su origen natural, unas basadas en la ocurrencia de grandes explosiones de material inflamable y otras en la teoría eléctrica, a semejanza a la producida en la atmósfera con las tormentas.

Respecto a la teoría explosiva, un documento sevillano del año 1755, refleja la necesidad de disponer de pozos y sumideros, abiertos o con respiraderos, como elementos de ventilación para aminorar sus efectos dañinos (Martínez Solares, 2001). Continuando con esta teoría, años más tarde se genera una polémica en Granada sobre la conveniencia de abrir el llamado Pozo-Ayron, situado dentro de la ciudad y que había sido construido en época musulmana como remedio contra los terremotos al permitir la salida de los aires subterráneos (Sempere, 1807). Después de muchas discusiones técnicas, el ayuntamiento rechazó el proyecto, aunque el debate continuó y degeneró hacia aspectos más sociales, llegando incluso a suspenderse las representaciones de comedias.

En relación con la teoría eléctrica, ésta surgió para justificar la gran velocidad de propagación que había tenido el terremoto de Lisboa de 1755, en el que ciudades muy distantes entre sí habían sentido el terremoto prácticamente a la misma hora. Más de un siglo después, la teoría continuaba vigente, llegándose a defender ideas para construir paratemblores, similares a los pararrayos, que consistían en unas varas largas de hierro puntiagudas clavadas en la tierra y cuyo objetivo era detener los terremotos (Sempere, 1807).

Aunque a finales del siglo XVIII, ya se había establecido una relación entre la sacudida sísmica y la teoría ondulatoria, no es hasta la segunda mitad del siglo XIX cuando se puede considerar el inicio de la sismología moderna y en la que se empiezan a redactar también las primeras reglamentaciones legales sobre la forma de construir edificios contra los terremotos.

Las fuerzas sísmicas

El movimiento que generan los terremotos consiste en una vibración en la superficie de la tierra cuya dirección contiene las tres componentes espaciales: dos horizontales y una vertical. Ese movimiento vibratorio, que actualmente se mide con precisos equipos de sismómetros y acelerómetros, produce unas fuerzas de inercia que sacuden los edificios horizontal y verticalmente, y en algunas ocasiones también se generan fuerzas de rotación que complican todavía más el comportamiento y la estabilidad de la estructura.

En general, las fuerzas verticales del movimiento no se tienen en cuenta en el diseño antisísmico de la estructura, pues se supone que por la propia carga gravitatoria del edificio el cálculo estructural, lo ha incluido. No obstante, para algunas construcciones, dadas sus características especiales, si es necesario considerarlas y la experiencia ha demostrado que algunos edificios han sufrido daños estructurales muy graves debido a no haberse previsto la componente vertical del movimiento sísmico.

Realmente, la componente horizontal de la acción sísmica (en cierto modo similar a la del viento) es mucho más importante que la vertical, ya sea la estructura de mampostería, ladrillo, hormigón o acero. Aunque en algunos terremotos de gran magnitud se han llegado a registrar aceleraciones horizontales próximas a la de la gravedad, movimientos más pequeños pueden producir daños muy graves en los elementos verticales de los edificios (pilares, columnas, muros,...), que son los que más influyen en su estabilidad, por lo que un fallo en ellos pueden hacer colapsar el edificio. Por tanto, se requiere que la seguridad sismorresistente sea superior en los nudos que en sus piezas -vigas o pilares- y que la de estos últimos

sea superior a la de las vigas.

Las fuerzas de rotación también juegan un papel decisivo en el comportamiento dinámico del edificio ante un movimiento sísmico, en particular cuando se trata de una construcción de planta compleja y de forma poco regular. Estas fuerzas son, en general, difíciles de modelizar, debiéndose tener en cuenta las posiciones relativas que entre sí guardan el centro de gravedad y el centro de rotación.

Evolución del urbanismo

Cuando se analizan los efectos que producen los terremotos, la configuración urbanística de las ciudades adquiere un notable interés. A lo largo de la historia la forma de las ciudades ha ido transformándose, pasando de trazados con calles irregulares, en particular correspondiente a la época islámica en España, a otras con calles más amplias, rectilíneas y perpendiculares entre sí. Este cambio ha estado motivado fundamentalmente por la propia evolución de los conceptos urbanísticos, pero en algunos casos también por la necesidad de trasladar a otros lugares las ciudades destruidas por terremotos. Así lo podemos apreciar a consecuencia de un notable terremoto ocurrido en 1518 que destruyó la ciudad de Vera, en la provincia española de Almería. Como consecuencia de la catástrofe, la ciudad quedó reducida a escombros, planteándose la necesidad de trasladarla a un lugar más adecuado, ya que dado su carácter medieval, y también como elemento defensivo, estaba ubicada en una colina, por lo que se planificó su traslado hasta un emplazamiento llano, de acuerdo con la tendencia general de la época para configurar las ciudades modernas. También la desaparición de la fuente que suministraba agua o la gran cantidad de escombros acumulados y la poca solidez del terreno, aconsejó su traslado. Un informe sobre cómo se debería reedificar la ciudad indicaba que debía tener un trazado regular, configurándose alrededor de una calle principal, una serie de secundarias y bordeada por un perímetro defensivo (figura 1).



Figura 1. Esquema del trazado de la planificación urbana de la ciudad de Vera tras el terremoto de 1518 (Villanueva Muñoz, 1986).

Esta forma de planificación fue con buen criterio trasladada para las nuevas ciudades fundadas por los españoles en el Caribe, produciendo un notable beneficio al aminorar los daños, tanto directos como indirectos, ocasionados por los terremotos, tal y como ocurrió con el terremoto de 1594 en San Salvador (Muñoz y Udías, 2006).

Como el ser humano se suele olvidar con el tiempo de las catástrofes sufridas, sobre todo si los periodos de recurrencia de estos fenómenos son largos, tal y como sucede en España, vemos como adentrados ya en el siglo XIX todavía se continuaba discutiendo sobre como diseñar el nuevo trazado de calles en ciudades destruidas por terremotos. A causa de uno ocurrido en el sureste de España, un ingeniero de minas (Larramendi, 1829) realizó un informe en el que aconsejaba que las nuevas calles se dispusiesen con regularidad y espaciosidad, las secundarias con un ancho de al menos 40 pies (12 m) y las principales de 50 pies (15 m). Asimismo, propone que los edificios emblemáticos como iglesias, escuelas o casas consistoriales dado su mayor tamaño se localizasen en las plazas, que estarían situadas en el centro urbano.

La anchura de las calles puede ser un factor crítico a la hora de favorecer los daños. En terremotos como el anterior, se observó que en pueblos como Torrevieja (Alicante), con calles estrechas, la caída de casas habría podido afectar a las contiguas como si se tratase de un castillo de naipes. Desde un punto de vista de la protección civil, este tipo de calles pueden quedar colapsadas, con lo que el acceso de las ayudas y suministros puede dificultarse enormemente.

Efectos del terreno

El tipo de suelo en el que asientan los edificios, su relieve, la pendiente del terreno, la geología superficial y en profundidad y en general las características de las últimas decenas de metros influyen notablemente en la percepción del movimiento sísmico y pueden ser determinantes en los daños originados. Ya vimos anteriormente como el terremoto ocurrido en 1518 destruyó la ciudad de Vera, que estaba situada sobre una colina. En este caso el llamado efecto topográfico por la forma del relieve hizo que la energía generada por el movimiento vibratorio se concentrase en la colina y que por tanto el daño fuese mayor.

Los suelos blandos amplifican el movimiento, por lo que muchas veces el daño que produce un sismo no es debido a la mala calidad de la construcción, sino a la poca solidez del suelo. En el terremoto de Lisboa de 1755, se consideró la posibilidad de desplazar la ciudad de Lisboa hacia la zona de Belén, donde la dureza del suelo era más favorable. Un fenómeno bastante curioso que generó este terremoto fue el de la licuefacción, o pérdida de la capacidad de transmisión de esfuerzos motivada por la acción sísmica, lo que hace que el suelo se comporte como si se tratara de un lodo inestable. Aunque se observó en el campo y por tanto no ocasionó ningún daño, podemos citar como ejemplo paradigmático de este fenómeno el terremoto de Niigata (Japón) de 1964, donde los edificios se inclinaron completamente sin que llegase a romperse la estructura.

En el terremoto de 1806, los daños en Santa Fe (Granada) se atribuyeron a que el terreno sobre el que se asentaba la ciudad era "cenagoso, flojo y desigual". También, al analizar la reconstrucción de Torrevieja, por el terremoto de 1829 se planteó el efecto del suelo al considerarse por algunos la necesidad de trasladar la ciudad a una nueva ubicación situada a poco más de media legua (aproximadamente 3 kms) ya que en ese lugar no habían caído las casas.

Para la elección del emplazamiento de las nuevas casas destruidas como consecuencia del llamado terremoto de Andalucía de 1884, se tuvieron en cuenta las causas que habían contribuido al daño, como fue la estabilidad del terreno, pendientes máximas del cinco por ciento y sobre todo que no hubiese sido afectado gravemente por el terremoto, lo que podría demostrar que el suelo era bueno (López Arroyo, et al. 1980).

Además de las características del terreno situado bajo los edificios, los terremotos, a partir de una determinada magnitud pueden producir efectos en la naturaleza que de forma indirecta ocasionan gravísimos daños en las construcciones. Uno de los más destructivos, como recientemente se ha puesto

de manifiesto, son los tsunamis u olas gigantescas capaces de destrozar aquellos edificios cuya estructura resulte más endeble. Asimismo, otros efectos geológicos de origen sísmico como los deslizamientos de ladera o la caída de grandes rocas sobre las ciudades, pueden aumentar notablemente los daños que por si mismo ha ocasionado el terremoto.

El diseño de los edificios

Un documento fechado en Sevilla en el año del terremoto de Lisboa (1755) titulado: Anotaciones de unos Matemáticos y Curiosos sobre el terremoto.....; útil para que trabajen los Físicos, y poderse precaver en lo posible, las gentes y sus edificios (en Martínez Solares, 2001), compara los grandes edificios con los de “mucho plano y poca altura”, y textualmente dice: “Los edificios grandes con gran solidez de cimientos y muy unidos, son mas expuestos a la ruina de los terremotos, porque por su mayor mole, resisten mas, y tienen mas riesgo, o mayor estrago, y al contrario, aunque grandes y sólidos, estando formados sobre pilares, y arcos, teniendo menos resistencia, desahoga mas pronto el terremoto”.

Ya vimos el comportamiento complejo de este tipo de edificios ante un terremoto y viene a confirmarlo Appleton (2005) al reflejar que los daños más graves en los edificios más esbeltos de la ciudad de Lisboa sugirieron a los responsables de su reconstrucción que las nuevas casas tuviesen limitada su altura a una planta baja más dos pisos. En terremotos posteriores también se anotaban comportamientos similares, como en el de 1806 en Granada, en el que en los documentos de la época se decía que la solidez de los edificios puede ser conveniente para otros fines, pero no necesariamente para los terremotos y basaba su argumento en que una humilde choza tiene menos riesgo que los magníficos palacios y casas de cantería o mampostería, dado que en el pueblo de Santa Fe muchas casas de los pobres han padecido menos daños que la Colegiata o el convento de los Padres Agustinos.

En relación con el terremoto español antes mencionado de 1829, el ingeniero Larramendi (1829) indica que las casas, sin excepción alguna, tendrán solamente un piso, con una altura comprendida entre los 12 y 15 pies (≈ 3,5-4,5 metros). También añade como elemento de seguridad, que las casas deban disponer de corral, de forma que la gente al sentir el terremoto pueda fácilmente refugiarse en él o salir a la calle. Para su construcción aconseja que la fabrica sea de mampostería, debiéndose emplear mucha “maderación” muy bien trabada. En este punto el autor del informe anota el concepto “moderno” de la sencillez como norma general en las construcciones.

Los terremotos ocurridos en las Islas Filipinas entre los años 1863 y 1880 marcan el principio de la normativa legal en España, pues fueron publicados en los boletines oficiales en los que se dictaban los textos legales. El sismo de 1863 prácticamente destruyó la ciudad de Manila, muchos de los pueblos vecinos, ocasionando la muerte a más de cuatrocientas personas y como consecuencia de la catástrofe, dos años más tarde la Compañía de Jesús funda el Observatorio sismológico y meteorológico de Manila. Posteriormente, como consecuencia de los terremotos habidos en 1880 en la isla de Luzón se emitió un decreto en el que se dictaban las Reglas mas principales a que deberán sujetarse los edificios públicos y particulares que se construyan o reparen en las Islas Filipinas en la Gaceta de Manila, 1880. Estas reglas, divididas en 43 apartados, recogen de forma breve los aspectos técnicos de la construcción. Como veremos mas adelante, llama la atención una de ellas referida a la importancia de los edificios: “Los entramados verticales de los edificios públicos, y más especialmente los destinados á contener un crecido número de personas, siquiera sea temporalmente, como son las iglesias, mercados, teatros, etc., se construirán de hierro, pudiendo emplearse la madera cuando este material resulte notablemente más económico”.

Los efectos que los terremotos de 1880 produjeron en una Iglesia de la ciudad filipina de Pangasinam (figura 2), muestran como los diferentes periodos de oscilación de estructuras contiguas y de diferente rigidez pueden verse afectadas. Este comportamiento, ya aparee citado explícitamente en los documentos contemporáneos al suceso (Cerero, 1890).



Figura 2. Efectos del terremoto de 1880 en la Iglesia de San Jacinto en Pangasinan (Filipinas). (Cerero, 1890).

En sismos posteriores (1884 en Andalucía), ya se tuvieron en cuenta las recomendaciones anteriormente citadas y las nuevas edificaciones limitaban la altura a dos plantas y serían diseñadas partiendo de las carencias detectadas que habían causado los daños. Así se dotó a las nuevas casas de una buena cimentación, ya que se constató la casi nula existencia de la misma, siendo necesario además que su profundidad fuera superior a la altura aparente del edificio. También se hizo una elección adecuada de los materiales y se procedió a un control riguroso de la ejecución. Se tuvo especial cuidado en que la unión entre las distintas fábricas y los entramados de tabiques, pisos y cubiertas se realizara de la forma más adecuada, como se pone de manifiesto en los detalles de la figura 3 que representa uno de los modelos de casas diseñados.

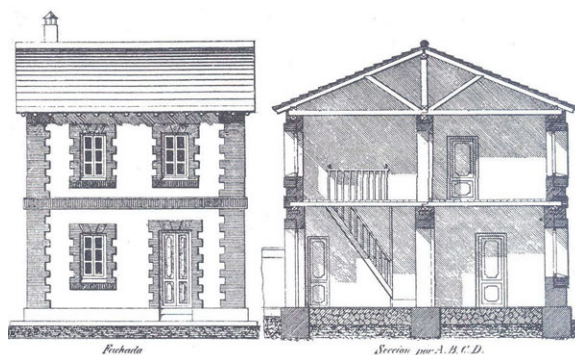


Figura 3. Fachada y sección de uno de los nuevos modelos de casa diseñados para la reconstrucción (López Arroyo, et al. 1980).

La normativa antisísmica

La filosofía que encierran las normas sismorresistentes modernas es tratar de evitar el colapso general o local de las estructuras bajo terremotos fuertes y reducir al mínimo los daños estructurales y no estructurales ante terremotos de mediana intensidad. En primer lugar, la normativa ha de considerar una diferenciación según el tipo de edificio o construcción de que se trate. No es lo mismo hacer un almacén para guardar fruta que construir un gran hospital. En general las construcciones se clasifican, dependiendo de su importancia, en tres categorías (NCSE-02):

1. Importancia moderada, cuya destrucción tenga una probabilidad despreciable de producir víctimas, interrumpir un servicio primario o generar daños económicos significativos.
2. Importancia normal, aquellas que su destrucción puedan ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario no imprescindible o daños económicos importantes.
3. Importancia especial, cuya destrucción pueda interrumpir un servicio primario imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos.

Desde que se inicia el proyecto de una determinada construcción y durante todo su periodo de vida útil, se deben cumplir una serie de requisitos contemplados en las distintas fases. Así, en la fase de proyecto, es necesario incluir un apartado de acciones sísmicas, que deberá ser visado por el colegio correspondiente y posteriormente obtendrá la licencia municipal y todas las autorizaciones que se requieran. Por otro lado, en los casos en que se trate de una reforma o rehabilitación se deberá tener en cuenta la normativa antisísmica a fin de que los niveles de seguridad de los elementos afectados sean superiores a los que poseían en su concepción original. Durante la fase de ejecución, el director de la obra comprobará el cumplimiento detallado del proyecto. Por último, durante toda la vida útil de la construcción, se deberán analizar las consecuencias que haya podido tener a causa de un terremoto de intensidad alta.

Las normas modernas tienen en cuenta en el diseño estructural el concepto de ductilidad o capacidad de deformarse un elemento resistente sin llegar a romperse. Con objeto de evitar las pérdidas humanas, se diseña un edificio para que ante un terremoto importante pueda deformarse un determinado elemento de la estructura (viga, soporte, nudo,...) que aunque lo haga inservible para su uso y hubiese que derribarlo posteriormente, sin embargo, no colapse.

Sin entrar en aspectos demasiado técnicos, las normativas actuales contra los terremotos suelen especificar una serie de reglas de diseño que han sido extraídas de la observación del comportamiento de elementos estructurales y no estructurales en terremotos destructores, algunas de ellas ya reseñadas en los apartados anteriores. Hemos visto como edificios con disposiciones no simétricas o complejas resultan más dañados, por lo que son desaconsejables plantas en forma de "L", "H", "U", "T" y en el caso que se quieran construir se deben subdividir en formas regulares. También en el alzado se debe procurar una disposición geométrica regular, evitando transiciones bruscas de forma entre plantas sucesivas.

Respecto a la distribución de masas en el edificio, se debe procurar que estén dispuestas de la forma mas uniforme posible a lo largo de la altura. La rigidez también debe distribuirse gradualmente en altura, y para una misma planta, es necesario uniformidad y simetría. Ningún elemento estructural debe cambiar bruscamente de rigidez, por lo que si se colocan plantas diáfanas junto con otras plantas muy compartimentadas, se deberá tener en cuenta la diferencia de esta característica. En general, deben colocarse elementos de gran rigidez en el perímetro exterior de la planta y que las vías generales de evacuación, como las escaleras, estarán dotadas de una resistencia y ductilidad adicional para facilitar su utilización en caso de terremoto.

Otros aspectos a tener en cuenta, ya observados en terremotos históricos, es la necesidad de que toda construcción debe estar separada de las colindantes una distancia mínima para mitigar los efectos del choque entre ellas durante los movimientos sísmicos y también evitar la instalación de conducciones generales atravesando planos de junta entre edificios, salvo que dispongan de enlaces flexibles

adecuados.

Algunos países que tienen zonas sísmicas no muy próximas a su territorio, contemplan en sus normas sísmicas una especial característica que ha sido observada en terremotos como el de Lisboa de 1755 o recientemente en el de México de 1985. Consiste en la lenta atenuación que tienen las ondas sísmicas de mayor periodo, lo que origina que a gran distancia puedan afectar en mayor medida a los edificios más altos, ya que estos tienen también periodos propios de vibración más elevados.

Por lo que respecta a la Unión Europea, en 1975 se inició un programa cuyo objetivo fue armonizar las diferentes normativas técnicas de construcción existentes en Europa. Tiempo después, en 2004 se finalizó el proyecto con la publicación de la instrucción técnica del Eurocodigo-8, relativa al diseño de estructuras resistentes a terremotos, aprobada por parte del Comité Europeo de Normalización. Se trata de un exhaustivo documento en el que, además de las prescripciones generales, se incluyen seis apartados correspondientes a: puentes; evaluación y rehabilitación de edificios; silos, depósitos y tuberías; cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos y torres, mástiles y chimeneas.

Conclusiones

Hemos observado como a lo largo de la historia los terremotos han ido proporcionando al hombre un nivel de conocimiento que se ha ido perfeccionando y que actualmente permite construir edificios muy seguros contra los terremotos. Esto se pone de manifiesto en países con gran actividad sísmica, pero con pocas víctimas mortales, como ocurre en Estados Unidos o Japón.

En la mayoría de las regiones que sufren estas catástrofes se tiene acceso a la normativa sismorresistente, ya sea propia o copiada de otros países, de forma que tienen la posibilidad de acceder al conocimiento técnico necesario para resolver el problema. Sin embargo, se necesita también contar con la experiencia suficiente para diseñar con criterios antisísmicos, la capacidad para realizar una buena ejecución de la construcción y el empleo de los materiales adecuados, y sobre todo, el potencial económico que lo haga posible. Una solución a este problema en los países menos desarrollados podría consistir en buscar soluciones técnicas usando los materiales propios de cada zona y que permitiesen diseñar y construir viviendas con bajo costo.

Bibliografía

Appleton, J. "Segurança sísmica de edificios pombalinos" en O grande Terramoto de Lisboa. Lisboa: Fundação Luso-Americana, 2005, vol. II, p. 129-148.

Crero, R. Estudio sobre la resistencia y estabilidad de los edificios sometidos a huracanes y terremotos. Imprenta y Litografía del Depósito de la Guerra, 1890, 85 p. (Edición facsímil en 1992, Madrid, MOPT, CEDEX, CEHOPU)

Eurocodigo 8. EN-1998-1 - 6. Design of structures for earthquake resistance. European Committee for Standardization, 2004, Bruselas.

Gentil Govantes, P. El riesgo sísmico de Sevilla. Sevilla: Serv. de Publicaciones Univ. Sevilla, 1989, no. 11, 255 p.

Galbis, J. Catálogo Sísmico de la Zona comprendida entre los meridianos 5° E y 20° W. de Greenwich y los paralelos 45° y 25° N. Madrid: Instituto Geográfico, Catastral y de Estadística, 1932, 807 p.

Larramendi, J.A. Memoria y relación circunstanciada de los estragos que la terrible catástrofe de los terremotos de 21 de marzo y siguientes, principalmente, el del Sábado Santo 18 de abril hasta el presente día, han causado en Torreveja y demás pueblos de la gobernación de Orihuela y sus inmediaciones, en la ciudad de Murcia y algunos pueblos de la provincia de este nombre. Madrid, Imprenta Real, 1829, 24 p.

López Arroyo, A., Martín Martín, A.J. y Mezcua Rodríguez, J. "El terremoto de Andalucía. Influencia en sus efectos de las condiciones del terreno y del tipo de construcción" en El terremoto de Andalucía de 1884. Madrid: Instituto Geográfico Nacional, 1980, p. 5-94.

martínez solares, J.M. Los efectos del terremoto de Lisboa en España (1 de noviembre de 1755). Madrid: Instituto Geográfico Nacional, 2001, 756 p.

Muñoz, D. and Udias, J. "The earthquake of San Salvador, Central America, of 21 April 1594: The first Questionnaires on the Damage of an Earthquake in the Western Hemisphere". Bull. Seism. Soc. of Am., 2006, vol. 96, no. 4, p. 1538-1544.

NCSE-02 Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación. Madrid: Ministerio de Fomento, 2003. 94 p.

"Reglas más principales a que deberán sujetarse los edificios públicos y particulares que se construyan o reparen en las Islas Filipinas" en la Gaceta de Manila, 21 de agosto de 1880, año XX, no. 232, tomo II, p.1584-1588.

Sempere, J. Reflexiones sobre los terremotos de Granada. Madrid: Real Acad. Historia, Ref. 9/5210, 1807, p. 416-453.

Villanueva Muñoz, E.A. La planificación urbana de Vera tras el terremoto de 1518 forma y significado. Roel: Cuadernos de civilización de la cuenca del Almanzora, 1986, no. 7/8, p.127-143.

