

La arquitectura en la prevención de desastres estructurales por sismos en la Ciudad de México

EDMUNDO MÉNDEZ CAMPOS
CHRISTIAN MÉNDEZ ZEPEDA
TECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN / SÍNTESIS CREATIVA
UAM-XOCHIMILCO
emendez_campos@hotmail.com

PALABRAS CLAVE

Sismos
Estructura
Arquitectura
Desastres

KEYWORDS

Earthquakes
Structure
Architecture
Disasters

RESUMEN

La Ciudad de México es propensa a experimentar terremotos. Por ello analizamos cualitativamente la forma como las decisiones arquitectónicas influyen en la reducción de vulnerabilidades estructurales. Concluimos que esto se lograría reforzando los conocimientos de los arquitectos en normatividad, estructuras y nuevas tecnologías, así como por el desarrollo de metodologías de diseño que tomen en cuenta los riesgos.

ABSTRACT

Mexico City is prone to face big earthquakes. Therefore, the author analyzes qualitatively the way by which the architectural decisions influence the reduction of structural vulnerabilities. The conclusion is that this could be reached by strengthening the knowledge of architects in the fields of regulations, structures and new technologies, including the development of risk-conscious technologies.

ANTECEDENTES

En el presente documento utilizaremos como sinónimos los términos sismo, terremoto o temblor para referirnos al fenómeno natural o artificial que se manifiesta por sacudidas o movimientos bruscos del terreno, toda vez que la diferencia entre dichos términos es únicamente etimológica; así pues la palabra “sismo” procede del griego “σεισμός”, que significa temblor; y la palabra “terremoto” deriva del latín: *terra*=tierra y *moto*=movimiento.

Además de lo anterior, también consideramos importante señalar que, a pesar de que por la ocurrencia de un sismo pueden resultar dañados múltiples subsistemas arquitectónicos (como las instalaciones, los ornamentales, etcétera), nosotros nos referiremos de forma predominante al subsistema estructural toda vez que, “por estar sujetas a las leyes de las fuerzas externas (acción de la gravedad, presión del viento, sismos, etc.), la arquitectura y los seres vivos satisfacen a un principio general mecánico sin el cual no sería posible su estabilidad y resistencia, y este principio no es otro que el de la estructura” (Cardellach Félix, 1970: 5). Por ello, cuando éstas han fallado, han ocurrido grandes catástrofes en todo el mundo, por ejemplo, el caso de la Ciudad de México, en donde un terremoto colapsó múltiples edificaciones en el año 1985.

Finalmente, y de acuerdo con el doctor Roberto Arroyo (2005: 29), un terremoto o sismo en ocasiones es definido como una catástrofe natural, sin embargo, como él mismo apunta, esta aseveración es equívoca, dado que, la mayoría de las veces, lo que provoca las catástrofes son las malas prácticas constructivas y no necesariamente la ocurrencia de dicho fenómeno sísmico, esto quedará de manifiesto a lo largo del presente documento.

INTRODUCCIÓN

Posterior al desastre ocurrido por el sismo en la Ciudad de México el 19 de septiembre de 1985, los diferentes niveles de gobierno y la sociedad en general tomaron medidas inmediatas con miras a reducir los impactos y la vulnerabilidad por este tipo de fenómenos, tanto en las edificaciones (buscando disminuir la amenaza y el costo de reparación) como en las personas. Para ello, se crearon y adecuaron reglamentos de construcción, se desarrollaron planes de

contingencia, se instauró el sistema de alerta sísmica y se crearon o actualizaron dependencias como el Cenapred (Centro Nacional para la Prevención de Desastres) o el Sinaproc (Sistema Nacional de Protección Civil), además de fomentar la educación y la cultura en materia de prevención de desastres en la sociedad, entre otras tantas medidas tomadas.

Sin embargo, poco se ha hecho en el Distrito Federal para involucrar de forma activa a la arquitectura y a los arquitectos en dicha materia; a pesar de que “datos históricos, estadísticos y probabilísticos demuestran la importancia que debe darse a la variable de los terremotos en la arquitectura emplazada en la Ciudad de México” (Méndez, 2009: 27).

Lo anterior puede deberse a múltiples razones, empezando por el evidente vacío que puede percibirse en los textos de la arquitectura, en donde el tema de las estructuras y los desastres siguen permaneciendo ajenos al discurso arquitectónico (aun cuando el fenómeno del cambio climático tiene especialmente preocupado al ámbito académico), y quizá sean precisamente estos vacíos de conocimientos lo que ha llevado a muchos arquitectos a crear edificaciones altamente vulnerables a los sismos, con el riesgo implícito que conlleva para la vida y las posesiones de las personas, dejando de lado que la forma arquitectónica es “[...] también resultado de las fuerzas distintivas del contexto donde se encuentran” (Baker, 1997: 4) quedando demostrado lo anterior en la investigación conjunta entre México y Estados Unidos de Norteamérica desarrollada por el Conacyt (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y por el NRC (National Research Council) (1986: 29) con motivo de los sismos de septiembre de 1985 en México, donde fue posible concluir, entre otras cosas, que el colapso estructural de algunas edificaciones se debió a inadecuados proyectos arquitectónicos, con lo cual se probó así, que no toda la responsabilidad es del calculista, sino que ésta es compartida con el arquitecto (Cuadro 1).

Debido a lo antes expuesto, es posible aseverar que una adecuada e inteligente intervención de los arquitectos en la prevención de desastres por sismo en la Ciudad de México puede evitar que una situación de riesgo se convierta en una catástrofe, siendo el objetivo que nos propusimos en la

presente investigación: conocer la manera como los arquitectos pueden contribuir a reducir la vulnerabilidad de las edificaciones cuando proyectan.

FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA

De acuerdo a Méndez (2009: 4) los sismos pueden producirse por causas tanto artificiales como naturales; en el primer caso, pueden resultar de actividades humanas como el uso de explosivos, experimentos nucleares, deforestación cerca de algún talud, etcétera; en tanto que entre las causas naturales que pueden dar origen a un terremoto se encuentran la inestabilidad de laderas, el hundimiento de cavernas, los deslaves, el surgimiento o erupción de volcanes o el choque producido entre las placas tectónicas.

De las anteriores, las de origen tectónico son las que tienden a producir los sismos de mayor intensidad debido al desplazamiento repentino entre dos placas pues, al ser excedida la fuerza de fricción entre ellas, superan su estado de equilibrio mecánico y generan con ello una ruptura que libera energía y que se propaga por la corteza terrestre en forma de vibraciones, desplazamientos y movimientos diversos.

Existen cuatro tipos de ondas sísmicas fundamentales: dos son internas y dos externas. Las primeras se propagan por el interior de la tierra “a través de sólidos, líquidos y la atmósfera” (Cenapred, 2001b: 9) y son de compresión, mejor conocidas como ondas “P” y ondas “S” (Figuras 1 y 2), mismas que comprimen y expanden la roca en intervalos X de tiempo y de cizallamiento. Las ondas externas reciben el nombre de ondas Love y ondas Rayleigh (Figuras 3 y 4); las primeras deforman la roca aunque sólo horizontalmente, mientras que las segundas tienen un movimiento vertical y ondulante.

El punto en la profundidad de la corteza en donde empieza a romperse o tiene lugar un rozamiento o choque de rocas es llamado “foco” o “hipocentro”, siendo éste el centro de la perturbación mecánica; el “epicentro”, por su parte, es el punto en la superficie directamente sobre el hipocentro.

Actualmente, es posible medir tanto la magnitud como la intensidad de un sismo; la primera depende de la energía liberada en el foco del sismo y es una medida universal. Para ello se utiliza una escala logarítmica denominada Richter con valores que van del 1 al 9, donde “un grado de magni-

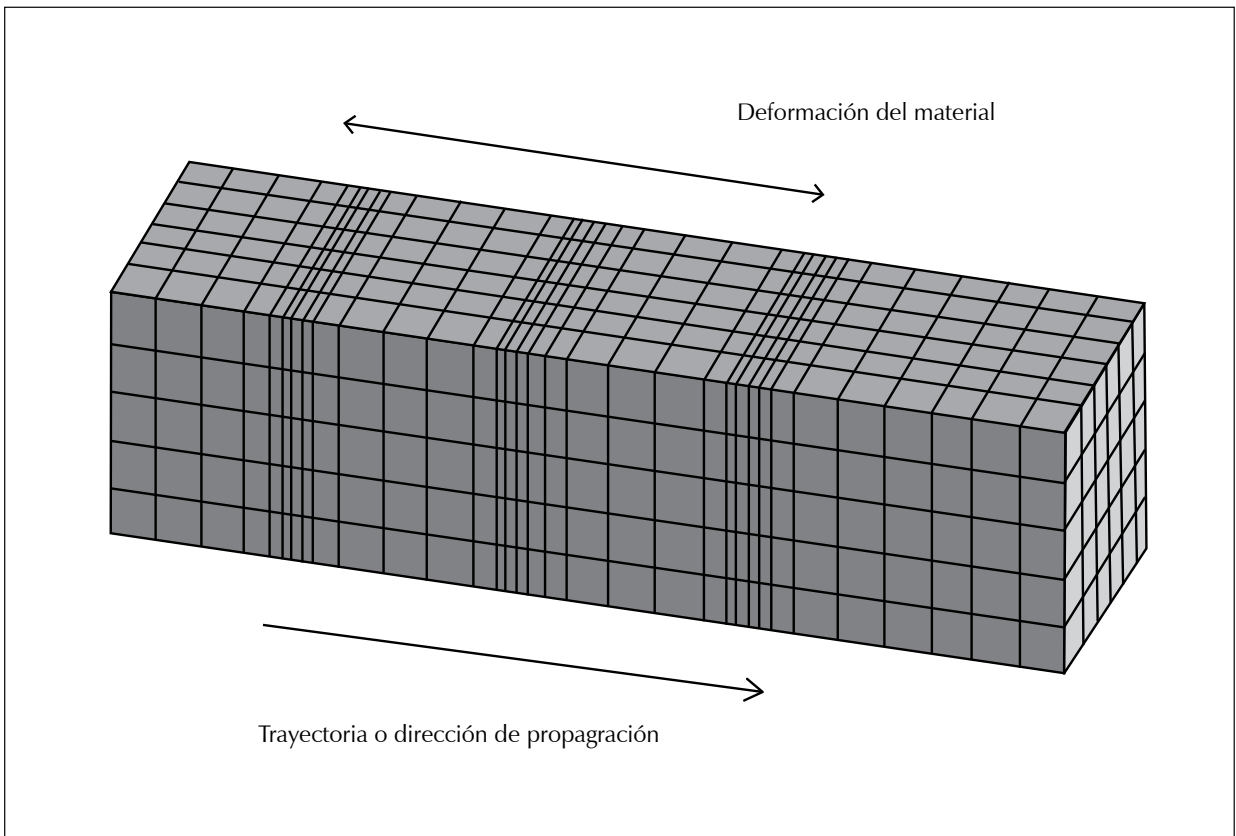


Figura 1. Onda P, Fuente: Cenapred, 2001b,p. 9.

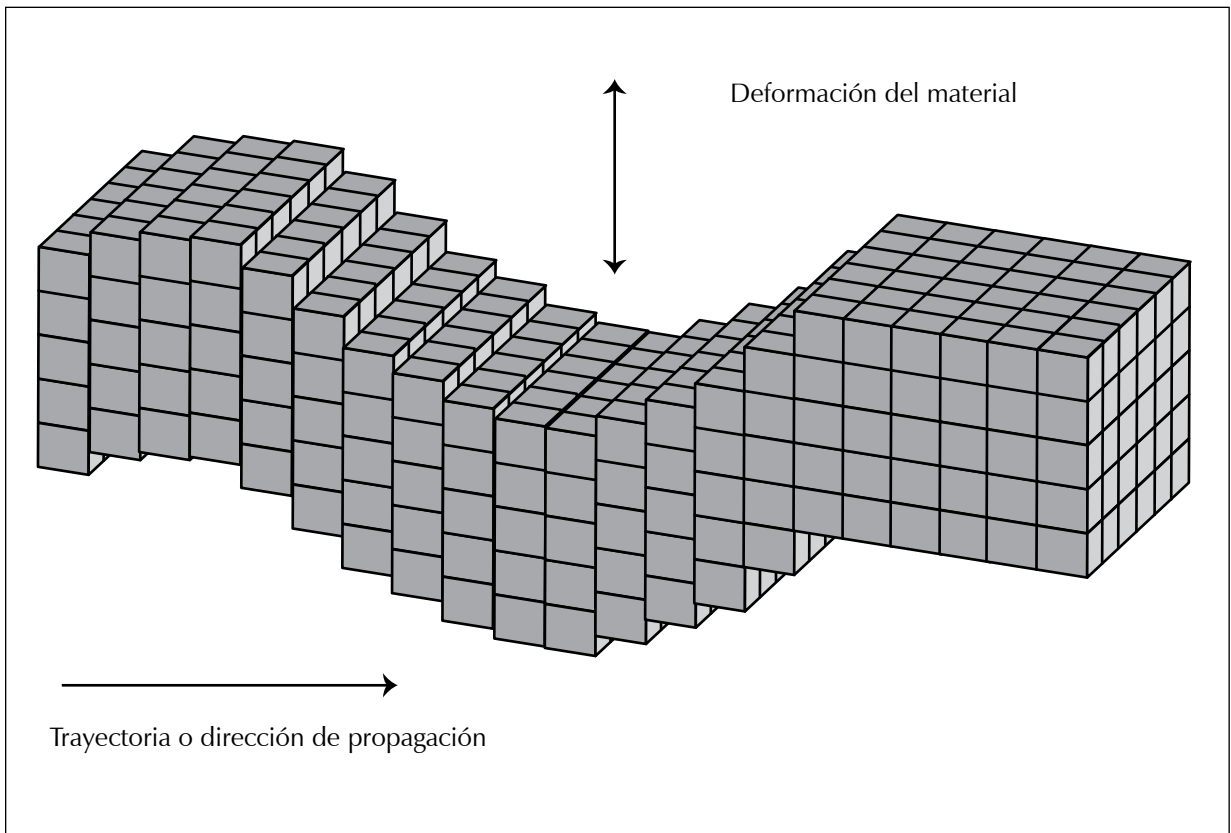


Figura 2. Onda S, Fuente: Cenapred 2001b, p.9.

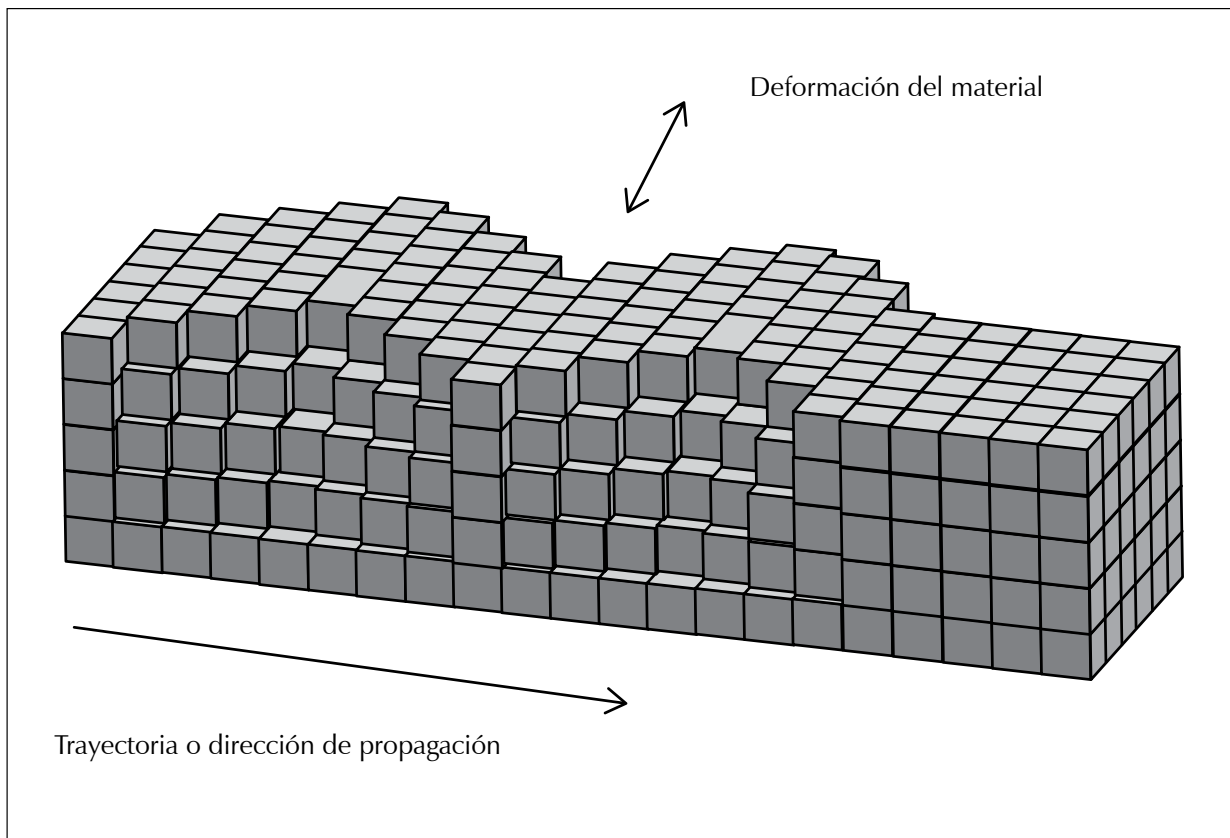


Figura 3. Onda sísmica Love, Fuente: Cenapred, 2001b, p.10.

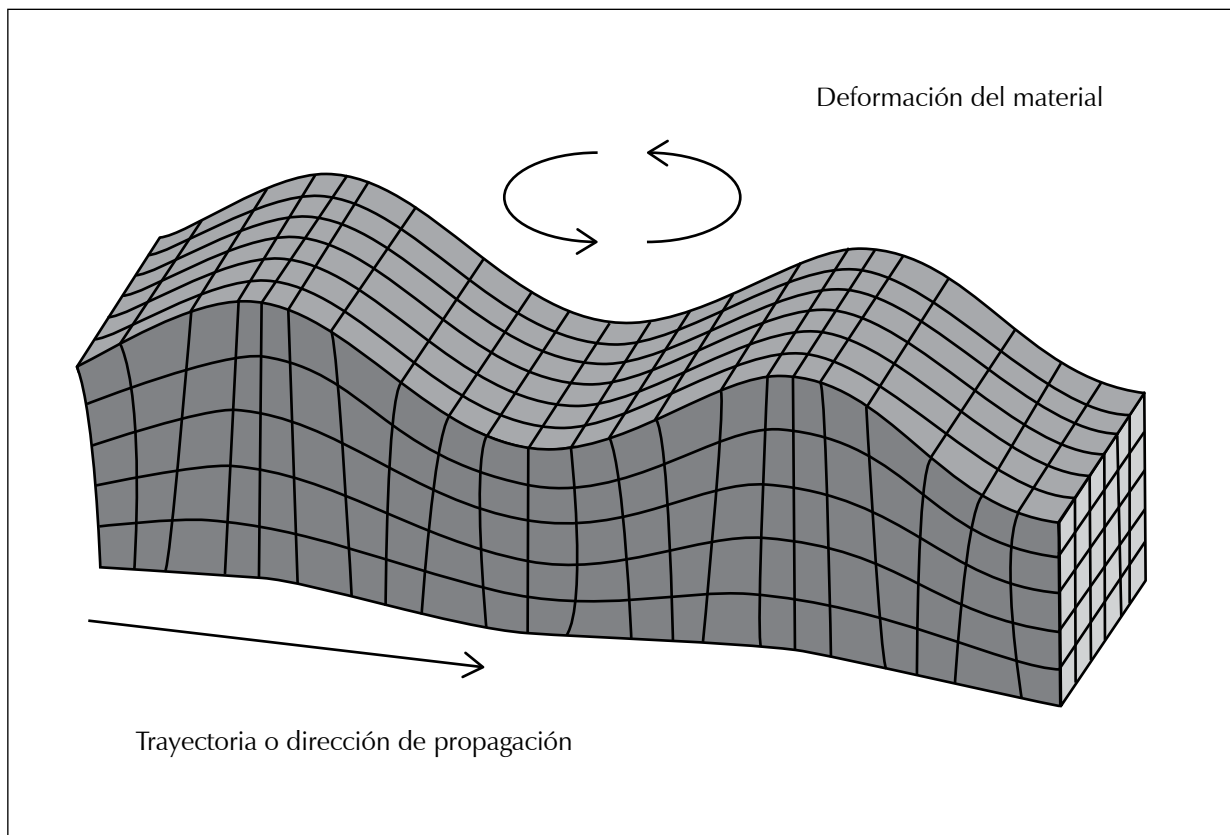


Figura 4. Onda sísmica Rayleigh, Cenapred, 2001b, p.10.

tud implica, en términos de energía liberada, una diferencia de 32 veces” (Cenapred, 2001b: 16); es decir, un sismo de 8 grados en la escala de Richter equivale a 32 sismos de magnitud 7, mil sismos de magnitud 6, etcétera; para dichas mediciones fue indispensable servirse del sismógrafo. Por otro lado, la intensidad se mide con la utilización de un cuestionario denominado “Escala de Mercalli”, con el que se miden los efectos que fueron percibidos en el lugar del sismo sobre la tierra, los edificios y la gente, con valores que varían según el lugar y la lejanía con respecto al epicentro; en su totalidad se cuenta con doce grados, siendo el “grado I” igual a muy débil, hasta el grado “XII”, denominado catastrófico. El sismo registrado el 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México alcanzó únicamente el grado VII de la escala antes mencionada.

Posterior a los sismos suelen presentarse las réplicas, que son terremotos de menor magnitud que se deben al reajuste de la región afectada por un gran sismo, y pueden presentarse durante las semanas o meses siguientes al sismo principal.

SISMICIDAD EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Hay dos razones por las que la Ciudad de México es especialmente vulnerable a los efectos de los sismos; por un lado, tenemos su situación geográfica, la cual repercute directamente en la frecuencia y la magnitud de los mismos y, por el otro, las cuestiones derivadas de su tipo de suelo, que se manifiestan en una mayor intensidad por las razones que explicaremos a continuación.

La capital mexicana, al igual que todo el país, se encuentra localizada dentro del llamado *cinturón de fuego*, considerado por algunos especialistas como la zona sísmica más peligrosa del planeta con terremotos que se deben, según Shri Krishna Sigh (<http://jfbblueplanet.blogspot.com/2011/07/america-de-el-nortefallas-geologicas.html> 1/11/2011) a que las placas de Cocos y de Rivera, que se encuentran al sur y sureste de México, en el océano Pacífico, se están metiendo bajo la placa de Norteamérica, de la cual forma parte la placa continental del país. De acuerdo con el Cenapred (2001b: 19), los estados mexicanos más afectados por los sismos son Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Puebla, Oaxaca, Chiapas y el Distrito Federal.

Por otra parte, la mayor magnitud que se registra en la Ciudad de México obedece a las condiciones mecánicas del tipo de suelo localizado en dicha zona; ya en el siglo XVIII, “Don Antonio de Alzate, un naturalista, descubrió que los temblores afectaban mucho más a las zonas donde había construcciones sobre suelo blando” (Arroyo, 2005: 19) y ésta es una de las principales características de los suelos de la Ciudad de México, los cuales están compuestos principalmente de “sedimentos heterogéneos, volcánicos, lacustres, con una proporción y variedad de microfósiles (ostrácodos y diatomeas) que adicionan compuestos solubles generados por la alteración de sus exoesqueletos y que forman parte de la microestructura del suelo” (Díaz-Rodríguez, *et al.*, 1998). Asimismo, “el contenido de agua es mayor a 400%, el índice de plasticidad excede 300% y el índice de compresión C_c puede llegar a un valor de 10, cuando en la mayoría de los suelos es menor a 1” (Díaz, 2006: 111). Además de lo anterior, el subsuelo de la Ciudad de México presenta un ángulo de fricción de 43°, comparable en magnitud con el de las arenas (Lo, 1962; Mesri, 1975; Díaz-Rodríguez, 1998).

Con lo anteriormente expuesto es posible entender la razón por la que el tipo de suelo del Distrito Federal no contribuye a frenar los embates de las ondas sísmicas, sino, por el contrario, tiende a magnificarlas, siendo estos valores indicativos de los problemas que se han tenido en el Distrito Federal para la cimentación de edificaciones elevadas y de gran peso, así como de los daños que suelen ser superiores a lo esperado debido, principalmente, a la amplificación de las ondas sísmicas en la zona lacustre de la Ciudad de México (el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente reconoce actualmente tres zonas con diferentes propiedades mecánicas). Por todo lo anterior, el Cenapred tiene catalogado al Distrito Federal en el Atlas Nacional de Riesgos como una zona de alto riesgo sísmico, con terremotos de intensidades máximas entre VII y IX en la Escala de Mercalli (Cenapred, 2001a: 38).

ACCIÓN DE LOS SISMOS EN LAS EDIFICACIONES ARQUITECTÓNICAS

Como ya indicamos en el apartado de antecedentes, en el presente documento nos referiremos primordialmente, y por su importancia, al aspecto estructural. Durante

la ocurrencia de un sismo existen también diferentes elementos que son propensos a dañarse como las instalaciones, ventanales, muros divisorios, etcétera, además del mobiliario y todo lo que esté contenido dentro de la edificación; de ahí que los arquitectos, para evitar producir viviendas en condiciones permanentes de riesgo, deban “valorar las múltiples amenazas y escoger materiales, estructuras y formas que soporten y sean flexibles para adaptarse a nuevas condiciones luego de los impactos” (Argüello, 2006: 1).

Así pues, la vulnerabilidad estructural está asociada con la susceptibilidad de los elementos o componentes estructurales a sufrir daño ocasionado por un sismo, lo que se ha llamado “daño sísmico estructural”, que comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que forman parte integrante del sistema resistente o estructura de la edificación, pudiendo estos daños ser locales o globales. El primer término se refiere a los daños en los elementos, mientras que el segundo, al daño sufrido en toda la estructura; asimismo, el nivel de daño estructural que sufrirá una edificación depende tanto del comportamiento global como local de la estructura y está relacionado con la calidad de los materiales empleados, las características de los elementos estructurales, su configuración, esquema resistente y las cargas actuantes. En el cuadro 1 se ilustran las diferentes causas que pueden estar implicadas en un daño estructural.

Independientemente de la magnitud del sismo, la distancia que tiene del hipocentro, dirección de propagación de la ruptura (falla) y las características de la región y locales, las obras arquitectónicas durante la ocurrencia de un sismo reciben las vibraciones del suelo a través de la estructura, y es la cimentación lo que comienza a moverse (al estar situada en un suelo blando como el suelo lacustre que predomina en la Ciudad de México, el movimiento es amplificado); mientras tanto la parte superior o azotea, que en un principio se opone al movimiento, gradualmente intenta moverse con la cimentación, sin embargo, ésta ya se encuentra del otro lado, lo que puede llegar a producir un efecto de chicoteo en la construcción; por su parte las ondas de choque golpean los muros pudiendo provocar que se abran. Mientras más altas sean las paredes, mayor velocidad y fuer-

Cuadro 1. Causas probables implicadas en una falla estructural



za se desarrollará durante la evolución del evento; de ahí es la importancia de que el arquitecto implemente en su diseño una estructura regular y estable que permita dar una mayor certidumbre a los cálculos hechos por el especialista.

Cuando una estructura se ve sometida a un sismo y sobrepasa su límite elástico, su rigidez se degrada debido al agrietamiento que sufren los elementos; así, mientras mayor es el daño, mayor es la pérdida de rigidez, como sucede cuando el movimiento del sismo es paralelo a los muros de carga y a las paredes transversales, produce grietas diagonales, y al regresar grietas perpendiculares que minan la fortaleza de la edificación; sin embargo, cuando el terreno se mueve paralelo a los muros que no son de carga, el daño será más serio debido a que los muros longitudinales pueden caerse y arrastrar al mismo tiempo a los muros transversales; cuando el terreno se mueve en forma diagonal, los edificios suelen abrirse por las esquinas y esto se debe a que los muros golpean en diferentes direcciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de conocer de qué forma los arquitectos pueden contribuir a prevenir los desastres arquitectónico-estructurales

por fenómenos sísmicos, realizamos una investigación con enfoque cualitativo y alcance exploratorio, para lo que utilizamos como técnica de recolección de datos la denominada “grupos de enfoque”, válida para la investigación científica por autores como Eyssautier (2006), Namakforoosh (2005), Loera (2007) entre otros, y que consiste en entrevistas grupales de 3 a 10 personas; para esta técnica la unidad de análisis es el grupo (lo que expresa y construye, y para su desarrollo conformamos una muestra de expertos.

La selección de los mismos consistió en una revisión curricular y la documentación que los acreditara como ingenieros y/o arquitectos, fue necesario descartar a dos de la muestra pretendida originalmente por no cubrir el perfil, por no contar con tiempo dedicado al diseño y cálculo estructural, al que nosotros fijamos en quince años, o por no tener cédula profesional; así nuestra muestra quedó determinada por tres reconocidos calculistas con más de veinte años dedicados profesionalmente al diseño y cálculo estructural, uno de ellos arquitecto y dos más ingenieros civiles. A esto se suma, que el responsable de dirigir las sesiones cuenta con cerca de 40 años realizando diseño y cálculo estructural de forma periódica, dentro y fuera del país.

Se desarrollaron dos sesiones: la primera, en marzo de 2008, y la segunda, en junio del mismo año; la primera fue principalmente abierta y con una duración aproximada de tres horas y media, lo que nos permitió desarrollar una guía que utilizamos en la segunda sesión, la cual se desarrolló de forma semiestructurada y con el objetivo de estabilizar y depurar los datos recolectados en la primera.

RESULTADOS

De acuerdo a las sesiones con los especialistas, pudimos determinar que hay al menos tres aspectos que, de corregirse, tendrían una influencia muy positiva en la capacidad de los arquitectos de la Ciudad de México para diseñar edificaciones menos vulnerables a los sismos (todas relacionadas en alguna manera con su formación académica); el primero sería lograr un mayor conocimiento de los arquitectos en cuanto al reglamento de construcción vigente en el Distrito Federal; el segundo aspecto sería fortalecer los conocimientos de los arquitectos en materia de nuevas tecnologías, así como en estructuras y, finalmente, la creación de metodologías de diseño arquitectónico que considerara como aspecto primordial la reducción de vulnerabilidades en las edificaciones.

Con respecto a lo primero, los participantes hicieron notar que algunos arquitectos no suelen considerar el reglamento de construcción para el Distrito Federal y sus normas técnicas complementarias en el diseño de edificaciones, tal como lo expresó uno de los expertos: “a mi forma de ver, el mayor riesgo para una edificación es que muchos arquitectos no le prestamos suficiente atención al reglamento de construcción, aun cuando es obligatorio para aspirar a ser directores responsables de obra”, y enseguida ofreció una serie de ejemplos para ilustrar la considerable cantidad de edificaciones construidas irregularmente que existen en la Ciudad de México.

Más adelante, otro de los entrevistados comentó: “en ocasiones algunos arquitectos llevan a calcular estructuras fuertemente irregulares a mi despacho y disienten del costo que tendrá la construcción, cuando es sabido que el reglamento, con fines de asegurar la estabilidad de una edificación, tiende a penalizar de forma estricta los proyectos irregulares de acuerdo al factor de reducción contenido en el mismo”.

A lo que se refería nuestro participante en el punto anterior es a que en el reglamento de construcciones para el Distrito Federal se consideran once puntos como condiciones de regularidad de una edificación, entre las que se incluyen la simetría de la edificación, la altura con respecto a la base o esbeltez de la obra y el tamaño de las aberturas respecto al porcentaje del claro (por ejemplo, en los cubos de escaleras), clasificándolas en estructuras regulares, estructuras irregulares y estructuras fuertemente irregulares. Una estructura, conforme es menos regular, es decir, conforme va cumpliendo con menos de los once puntos de regularidad, requerirá más refuerzo de acero y, por lo tanto, será más costosa, además de más insegura, en comparación con una estructura más regular, en cuanto a que son menos predecibles y existe menor certeza en los cálculos.

Por ello, otro de nuestros especialistas comentó más adelante: “los arquitectos en la Ciudad de México podrían contribuir en gran medida a reducir la vulnerabilidad en sus proyectos si diseñaran considerando la estabilidad”, es decir, un buen inicio sería preferir edificaciones anchas y cortas que son morfológicamente más estables que las edificaciones esbeltas y delgadas; asimismo, verificar

la simetría y la sencillez de la estructura, lo que ofrecería a la edificación una mayor estabilidad, además de que constructivamente tendría muchos beneficios.

Con respecto al tema de tecnología y estructuras, los expertos opinaron, de forma unánime, que el diseño estructural es al menos tan importante en el proyecto como el diseño arquitectónico y consideraron que las deficiencias producen proyectos costosos e inseguros que, en algunas ocasiones, podrían ser considerados ilegales por no respetar normas y reglamentos. Además, como señaló uno de los entrevistados, “un proyecto arquitectónico que no considera desde el principio los reglamentos y el aspecto estructural provocará que tengamos que realizar los calculistas toda clase de modificaciones laboriosas y costosas, para garantizar la estabilidad de la misma, comúnmente a disgusto de nuestros clientes”.

Otro especialista detalló más adelante “[...] comprender el reglamento y las normas técnicas complementarias es el aspecto básico por los cuales (sic) los arquitectos pueden contribuir activamente en la prevención”.

Además de lo anteriormente expuesto, también se habló de la importancia de que desde el ámbito académico se propongan metodologías que faciliten y hagan natural para los arquitectos diseñar edificaciones con reducidas vulnerabilidades. Además, propusieron que dicha metodología debía estar compuesta de al menos tres fases: una de análisis, otra de evaluación y, finalmente, una de optimización, con miras a la selección de la propuesta más segura, estética y económica por su construcción y funcionalidad.

Los especialistas sugirieron que en la primera fase, es decir, en la de análisis, se revisaran punto por punto todas las indicaciones contenidas en el reglamento de construcciones para el Distrito Federal y sus normas complementarias pertinentes para cada proyecto, siendo en la segunda etapa, la de evaluación, en la que se realizaría el diseño y se cotejaría con la primera fase para garantizar la regularidad de la edificación; en la última, se desarrollarían los cambios pertinentes para lograr una mayor regularidad, estabilidad y economía en la edificación. De acuerdo con los expertos consultados, el objetivo de dicha metodología debe ser lograr que los arquitectos consideren la estructura

en su proyecto desde el desarrollo de “los croquis preliminares, el anteproyecto y con mayor razón en el proyecto definitivo”.

Para finalizar, también se mencionó como fundamental determinar legalmente la responsabilidad que tienen los arquitectos en la prevención de desastres para que se pueda ofrecer realmente mayor seguridad a los habitantes. Además de lo anterior, sugirieron que en la academia debería enfatizarse el uso de las nuevas tecnologías como respuesta a las nuevas necesidades de la sociedad porque en ocasiones esas aparecen desfasadas, según comentaron.

DISCUSIÓN

De lo anterior se deriva que la sociedad demanda de la academia promover investigaciones y actividades docentes enfocadas a desarrollar una mayor cultura de prevención de desastres en los egresados de la carrera de arquitectura, por un lado, potencializando investigaciones y favoreciendo su divulgación, con el fin de permitir a los arquitectos estar mejor capacitados para reducir la vulnerabilidad en sus proyectos. Además de ello, es necesario investigar y delimitar los conocimientos que competen específicamente al arquitecto para que sea más fácil determinar su responsabilidad en materia de prevención de desastres al proyectar edificaciones; lo anterior permitiría, además de brindarle una mayor seguridad a los usuarios, contribuir, dentro de un marco legal, a la seguridad jurídica de los arquitectos ante una posible falla estructural.

Asimismo, también se desprende de los análisis de los especialistas que contribuyeron en la realización de la presente investigación, que los arquitectos que desarrollan su trabajo profesional en la Ciudad de México deben contar con una mayor formación en materia de reglamentación, estructuras y nuevas tecnologías tendientes a diseñar edificaciones óptimas, no sólo desde el punto de vista del diseño, en cuanto a los aspectos ergonómicos, formales y funcionales, sino también en miras a la reducción de la vulnerabilidad desde su aspecto mecánico.

Lo anterior en primera instancia podría lograrse haciendo que la materia de estructuras que se imparte en las carreras de arquitectura se vinculara explícitamente con contenidos relacionados con las acciones de los fenómenos naturales en las edificaciones, enfatizando la utilidad del reglamento

de construcciones del Distrito Federal y las normas técnicas complementarias para el cumplimiento de los objetivos estáticos. De igual modo, sería muy conveniente reforzar el nuevo conocimiento adquirido con la utilización de paquetería de software que permita a los arquitectos analizar la estructura de sus edificaciones antes de enviarla al especialista de forma rápida, eficaz y suficiente para garantizar su adecuación y estabilidad.

Para que lo anterior se logre de forma adecuada es necesario que la academia y la teoría de la arquitectura se sumen a las necesidades de los profesionales, con la finalidad de garantizar la seguridad de los usuarios por medio de investigaciones y publicaciones e, incluso, elaborando el material didáctico pertinente que permita una mayor conciencia y un amplio abanico de conocimientos teóricos y tecnológicos tendientes a diseñar estructuras de baja vulnerabilidad sísmica.

CONCLUSIONES

Ha quedado de manifiesto en el presente escrito que tanto las características geográficas como las condiciones del mismo terreno convierten a la Ciudad de México en uno de los lugares más vulnerables a la acción de los sismos en todo el planeta, motivo por el cual es de fundamental importancia que los arquitectos se sumen activamente a la cultura de prevención de desastres ocasionados por las acciones de los terremotos. Por ello, es indispensable, con la finalidad de garantizar la seguridad de las edificaciones y sus usuarios, que los teóricos de la arquitectura replanteen el papel de las estructuras en el diseño arquitectónico y estimulen a los arquitectos de la capital mexicana a ampliar y profundizar sus conocimientos en dicha materia. Ahora podemos dar por un hecho que un inadecuado proyecto arquitectónico puede ser el responsable del colapso de las edificaciones ante la ocurrencia de un sismo, por lo que es necesario investigar más acerca de la forma en que los arquitectos pueden reducir la vulnerabilidad ante los sismos en las edificaciones.

Asimismo, es indispensable que la academia desarrolle metodologías, materiales didácticos y publicaciones que doten a los profesionales de más conciencia y herramientas teóricas y tecnológicas para prevenir desastres y difundir la cultura de preven-

ción entre los practicantes de arquitectura en la Ciudad de México.

Finalmente, es necesaria la creación de un marco jurídico que determine con precisión las responsabilidades de los arquitectos en materia de prevención de desastres con miras a ofrecer una mayor seguridad a los habitantes de dichas edificaciones.

FUENTES DE CONSULTA

Argüello, M., (2006), *Gestión de la vivienda en riesgo: de la emergencia a la reconstrucción*, San José, Instituto de Arquitectura Tropical.

Arroyo Matus, R., (2005), *Mira como tiemblo*, México, Universidad Autónoma de Guerrero.

Baker, G., (1997), *Le Corbusier: análisis de la forma*, México, Gustavo Gili.

Cardellach, F., (1970), *Filosofía de las estructuras*, Barcelona, Técnicos Asociados.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y National Research Council, (1986), *Investigación para aprender de los sismos de septiembre 1985 en México*. Informe Técnico preparado por comités conjuntos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Natural Research Council, México-Estados Unidos de Norteamérica.

Cenapred, (2001a), *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*, México, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana/Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Cenapred, (2001b), *Sismos*, México, Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Díaz-Rodríguez, J. A., et al., (1998), "Physical, chemical, and mineralogical properties of Mexico City: a geotechnical perspective" en *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, núm. 4, pp. 600-610, Winnipeg.

Díaz-Rodríguez, J. A., et al., (1992), "Yielding of Mexico City clay and other natural clays", en *Journal of Geotechnical Engineering*. Division, ASCE, Vol. 118, núm. 7, pp. 981-995.

Díaz, J., (2006), "Los suelos lacustres de la ciudad de México en desastres naturales", en *Accidentes e Infraestructura Civil*, Vol. 6, núm. 2, México, pp.111-129.

Eyssautier de la Mora, M., (2006), *Metodología de la Investigación: desarrollo de la Inteligencia*, México, Thomson Learning.

Gobierno del Distrito Federal, (2004), Reglamento de construcción para el Distrito Federal, y Normas complementarias.

Godoy, J., (1986), *La Razón de las Estructuras*, Barcelona, Tesis de doctorado.

Méndez, Edmundo, (2009), *Prevención de desastres en la Ciudad de México. Caso de estudio: Fallas estructurales provocadas por sismo*, México, Tesis de Maestría-UNAM.

Mesri, G. Rokhsar, A., y Bohor, B. F., (1975), "Composition and compressibility of typical samples of Mexico City clay", en *Geotechnique*, Vol. 25, núm. 3, pp. 527-554.

Moore, F., (2000), *Comprensión de las estructuras en arquitectura*, Barcelona, McGraw-Hill.

Namakforoosh, Mohammad Naghi, (2005), *Metodología de la investigación*, México, LIMUSA.

Lo, K. Y., (1962), "Shear strength properties of a sample of volcanic material of the valley of Mexico", en *Geotechnique*, Vol. 12, núm. 4, pp. 303-318.

Loera Varela, A., (2007), "Los grupos de enfoque en la investigación cualitativa", en *Retrieved*, octubre 5, INDES-BID.

Safina, S., (2002), *Vulnerabilidad Sísmica de las Edificaciones Esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*, Barcelona, Tesis de doctorado.