



UNAM

Universidad Nacional Autónoma de México

Maestría en Arquitectura
Campo de conocimiento Tecnología

PREVENCIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Caso de estudio fallas estructurales provocadas por Sismos

28-01-2009



Autor: Arq. Edmundo Méndez Campos



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PREVENCIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Caso de estudio fallas estructurales provocadas por Sismos

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO PRESENTA:

Arq. Edmundo Méndez Campos.

Maestría en Arquitectura

Campo de conocimiento Tecnología

Año: 2009

Director de tesis:

Dr. Humberto Acedo Espinoza

Sinodales:

Maestro Francisco Reina Gómez

Maestro Jorge Rangel Dávalos

Maestro Ernesto Ocampo Ruiz

Doctor Carlos Bigurra Alzate

AGRADECIMIENTOS:

Mi más profundo agradecimiento al **Dr. Humberto Acedo Espinoza**, director de mi tesis, por sus orientaciones e indicaciones para llevar a término este documento.

Al **Maestro Francisco Reina Gómez**, por sus sugerencias y observaciones.

Al **Maestro en D.I. Chrístian Méndez Zepeda**, por sus observaciones y sugerencias a la formulación y ejecución del documento.

Al **Psicólogo Víctor Hugo Méndez Zepeda** por sus sugerencias a la redacción del documento.

A todos aquellos compañeros y amigos que impulsaron la conclusión de esta etapa en mi carrera.

Quiero expresar un agradecimiento muy especial a mi querida esposa **Guadalupe E. Zepeda Jones** y a mis siete hijos por su comprensión y apoyo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. DEMARCACIÓN DEL PROBLEMA	9
4.1 Planteamiento del problema	9
4.2 Preguntas rectoras	10
4.3 Objetivos	10
4.3.1 Objetivo general	10
4.3.2 Objetivos particulares	10
5. CONSECUENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN	10
6. MARCO DE REFERENCIA	11
6.1 Introducción al marco de referencia	11
6.2 Arquitectura y estructuras	15
6.3 Sismicidad	18
6.3.1 ¿Qué son los sismos?	18
6.3.2 Fundamentos de la sismicidad	19
6.3.3 Orígenes y propagación de sismos en la ciudad de México	23
6.3.4 Antecedentes geológicos	23
6.3.5 Antecedentes históricos	24
6.3.6 Características del terreno de la ciudad de México	25
6.3.7 Acción de los sismos en las edificaciones de la ciudad de México	27

6.4	Cuestiones relacionadas a las fallas estructurales	28
6.5	Normatividad	32
7.	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE LAS PREGUNTAS RECTORAS	35
7.1	Evaluación de los sistemas Arquitectónico-estructurales	38
7.1.1	Cumplimiento de objetivos	38
7.1.2	Coherencia entre los sistemas estructurales y arquitectónicos	38
7.1.3	Revisión de las condiciones de regularidad del sistema estructural	39
7.1.4	Desplazamiento y deformaciones de los sistemas estructurales	39
7.1.5	Resistencia de los sistemas estructurales	39
7.1.6	Revisión de los sistemas estructurales ante el fenómeno de la resonancia bajo la acción de fuerzas accidentales	40
8.	PROPUESTA METODOLÓGICA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL	40
8.1	Definición del sistema estructural	40
8.2	Determinación de de las cargas de la estructura	41
8.3	Revisión de las condiciones de regularidad de la estructura	42
8.4	Revisión del período natural de vibración de la estructura y el terreno	48
8.5	Revisión por fallas de servicio	49
8.6	Revisión por fallas de resistencia	49
9.	CONCLUSIONES	49

10.BIBLIOGRAFÍA	52
10.1 Libros	52
10.2 Publicaciones	53
10.3 Tesis	54
10.4 Páginas web	54
10.5 Reglamentos	54
ANEXOS	

RESUMEN

En la introducción y con la finalidad metodológica de ir de lo general a lo particular se analizan los fenómenos naturales que pueden propiciar desastres en las obras arquitectónicas, seleccionando para su estudio y análisis en esta investigación aquellos que tienen un origen tectónico y tomando como caso específico los sismos, los cuales constituyen una parte central del universo del discurso de la presente investigación.

Así pues en este apartado del documento hacemos notar que no todos los sismos necesariamente son de origen tectónico, tal es el caso de los que son producidos por la presión atmosférica, la intervención humana y las condiciones geomorfológicas.

La imposibilidad que existe de evitar que los terremotos se presenten y puedan en un momento dado llegar a convertirse en desastres que afecten a las obras arquitectónicas hace que debamos concentrarnos más bien en la forma de atenuar sus efectos a través de una adecuada cultura de la prevención y con la intervención activa y responsable de los diferentes actores sociales.

De esta forma, lo ocurrido en el sismo del 19 de Septiembre de 1985 en la Ciudad de México, a nuestro juicio, debe seguir siendo el motor que impulse diferentes trabajos de toda índole que contribuyan, desde lo más teórico hasta lo más práctico, en evitar que un desastre comparable vuelva a presentarse en nuestro país.

Por lo anterior, en la justificación planteamos que así como el gobierno, las instituciones civiles y la sociedad se han unido con la finalidad de prevenir los desastres provocados por los sismos, los arquitectos también debemos cooperar de manera más directa en el tema de la prevención y atenuación de dichos desastres.

Con la finalidad de estudiar la forma cómo los arquitectos podemos cooperar en el tema de la prevención y atenuación de desastres provocados por los sismos planteamos, las preguntas rectoras las cuales mencionamos a continuación:

1.- ¿De qué manera influye el proyecto arquitectónico en las fallas estructurales ocasionadas a causa de los sismos?

2.- ¿De qué forma puede un arquitecto contribuir a evitar dichas fallas estructurales en sus proyectos?

Posteriormente nos fijamos los objetivos que pretendíamos alcanzar en el transcurso de nuestra investigación y que detallamos enseguida

1.- Determinar y Analizar los errores más comunes que se cometen al diseñar obras arquitectónicas en la Ciudad de México y que las vuelven susceptibles de colapsarse en presencia de un sismo.

2.- Desarrollar una propuesta metodológica que permita a los arquitectos prevenir desastres estructurales al momento de proyectar.

Así pues, con la finalidad de respondernos nuestras preguntas rectoras y alcanzar nuestros objetivos en el marco teórico de referencia, analizamos los vínculos que existen entre la arquitectura y las estructuras. Además de las condiciones históricas, geológicas, y geográficas que vuelven a la Ciudad de México un sitio de alto riesgo para las edificaciones con defectos en el diseño estructural. Finalizamos este apartado estudiando la normatividad vigente para el diseño estructural en el Distrito Federal y las normas técnicas complementarias para diseño por sismo.

Posterior al marco teórico de referencia aplicamos la metodología de los grupos de enfoque, en la que convocamos especialistas en el cálculo estructural con la finalidad de que exteriorizaran en su propia experiencia las equivocaciones estructurales que los arquitectos solemos cometer al momento de proyectar obras arquitectónicas y que éstas pudieran volverlas vulnerables durante un evento sísmico. Como apoyo en esta etapa utilizamos simultáneamente la técnica de las inconsistencias

visuales, apoyándonos con fotografías del sismo del 19 de septiembre de 1985. Gracias a lo anterior fue posible desarrollar una matriz, la cual se compone de cuatro reactivos donde se cita el riesgo y se evalúa utilizando una escala de riesgo como alto medio o bajo.

El paso siguiente fue aplicar la técnica denominada Delphi (desarrollada por la RAM Corporation con la finalidad de hacer predicciones) a través de la cual y con el apoyo de otro grupo de expertos y la matriz desarrollada con los grupos de enfoque pudimos evaluar uno a uno en términos cualitativos los riesgos que entrañan el descuido de alguno de los tópicos presentes en la matriz.

De ahí se derivan las conclusiones del trabajo que mencionamos algunas a continuación.

- Tradicionalmente, los arquitectos hemos supuesto que las consideraciones de diseño para el comportamiento sismo resistente de una edificación son responsabilidad exclusiva de los ingenieros, y que sus consecuencias no deben afectar al diseño arquitectónico, concluyendo equivocada y peligrosamente que los riesgos involucrados no son responsabilidad nuestra.
- Hasta ahora, la única manera de reducir el riesgo de daño estructural en una edificación ante una amenaza sísmica es reduciendo su vulnerabilidad y ésta sólo se puede lograr adecuando lo mejor posible las variables, tanto de diseño estructural, como arquitectónico.
- Es necesario proyectar obras arquitectónicas con reservas de resistencia, a la gravedad y a los sismos.
- Respetar como mínimo lo especificado en el reglamento de construcción para el Distrito Federal y sus normas técnicas complementarias.
- La aportación del arquitecto en la prevención de desastres no sólo se limita a la parte estructural; también el proyecto debe considerar, entre otras cosas, que los vidrios que se pudieran romper durante un sismo no pongan en riesgo a las personas.

- Asegurarse que la caída de muros divisorios, cornisas, marquesinas, falsos plafones y unidades de iluminación tampoco pongan en riesgo la integridad de las personas;
 - Preferir los materiales no inflamables.
 - El proyecto de las instalaciones debe ser planeado desde el principio del proyecto así como las rutas de evacuación y reforzar los lugares que típicamente las personas utilizan para protegerse (paredes de soporte o marcos de puertas con trabes.)
 - Diseñar, junto con el proyecto, las conexiones necesarias para montar candelabros y cosas que pudieran caer sobre los habitantes.
 - Incluir protecciones para los transeúntes que los resguarden de ramas, postes, macetas, vidrios y de cualquier objeto que pueda caer sobre ellos.
 - Crear proyectos que den seguridad contra robos, pero que a la vez faciliten una evacuación rápida de las personas en caso de sismo.

SUMMARY

In the introduction and with the methodologic purpose to go of the general to the individual, we analyzed the natural phenomenon that cause disasters in architectonic works, selecting for their study and analysis, those that have a tectonic origin, and taking as specific case the earthquakes which constitute a central part of the universe of this research.

Therefore in this section of the document we make notice that all the earthquakes necessarily are not of tectonic origin; that is the case of earthquakes which are produced by the atmospheric pressure, the human intervention and the geomorphology conditions.

The impossibility that exists to avoid the earthquakes appear, and in a moment that they become a disaster that affect architectonic works, causes that we must be concentrated in the form to attenuate its effects through a suitable culture of the prevention and with the active intervention for the different social actors.

And so, the happened thing in the earthquake of September 19th, 1985 in Mexico City must continue being the motor that impels different works (theoretical and workable), which contribute to avoid that a comparable disaster appears again in our country.

By the previous thing, in the justification we raised that as well as the government, the civil institutions and the society have been united in order to prevent the disasters provoke by earthquakes. Architects must cooperate also in a direct way in the motif of the prevention and attenuation of these disasters.

In order to study the way how the architects can cooperate in the motif of the prevention and attenuation of disasters origin by earthquakes, we raised the governing questions which we mentioned next:

1. How affect the architectonic project in structural faults origin by earthquakes?
2. How an architect can contribute to avoid these structural faults in his projects?

After that we determined the objectives that we tried to reach in the course of our research and which we detailed later on:

1. - Determine and analyze the most common mistake that take a place in the architectonics' work design in Mexico City and make them susceptible to collapse in a earthquake presence.
2. - To develop a methodologic proposal that allows to the architects prevent structural disasters at the time of projecting.

So that, in order to respond our governing questions and to reach our objectives within the theoretical framework of reference, we analyzed the bonds that exist between the architecture and the structures. Moreover the historical, geologic and geographic conditions that becomes to Mexico City a site of high risk for the constructions with defects in the structural design. We end this section studying the valid norms for structural design in Federal District and complementary technique standards for design by earthquake.

Subsequent to the theoretical framework of reference we applied the methodology of approach groups, where we summoned specialists in the structural calculation with the purposes that they expressed through their own experience the structural mistakes that usually architects commit during the architectonic works projecting and these could become them vulnerable during a seismic event. As support in this stage we used simultaneously the technique of the visual inconsistency, supporting us with photographs of earthquake of September 19th, 1985. Thanks to the previous thing, it was possible to develop a matrix, which is made up for four reagents where the risk is mentioned and evaluated using a scale of high, half or low risk.

The following step was apply the technique denominated Delphi (developed by the ram Corporation in order to make predictions) through which and with the support of another group of experts and the matrix developed with the approach groups, we could evaluate one by one in qualitative terms the risks that involve the negligence of some of the topics presents in the matrix.

From there are derived the work conclusions that we mentioned some later on.

Traditionally, architects have granted that design consideration for the behavior resistant earthquake of a construction are exclusive responsibility of engineers and their consequences do not have to affect the architectonic design, concluding mistaken and dangerously that the involved risks are not our responsibility.

- Until now, the unique way to reduce the risk of structural damage in a construction in the presence of seismic threat is reducing its vulnerability, and this one can only be obtained adapting as well as possible the variables, for structural design as architectonic.

- Is necessary to project architectonic works with resistance reserves, to the gravity and the earthquakes.

- Respect like minimum the specified in the construction regulation for the Federal District and its complementary technique standards.

- The architect contribution in the prevention of disasters not only is limited to the structural part; the project also must consider, among other things, that the glasses that could be broken during an earthquake do not put in risk the people.

- To make sure that the fall of dividing walls, cornices, marquees, false ceiling light and illumination units either do not put in risk the integrity of the people.

- Prefer the nonflammables materials.

- The installation project must be plan from the start of the project as well as the evacuation routes and reinforce the places that people typically use to protect themselves (walls of support or doorframes with beams.)

- Design along with the project, the necessary connections to mount candelabra and things that could fall over the inhabitants.

- Include protections for the passers-by that protect them of branches, posts, flowerpots, glasses and any object that could fall over them.

- Create projects that give security against robberies, but facilitate simultaneously the fast evacuation of the people in case of earthquake.

1. INTRODUCCIÓN

Es la intención de esta tesis colaborar en materia de prevención de desastres en la Ciudad de México, procurando involucrar de forma activa a la arquitectura, en general, y a los arquitectos, en particular, en las actividades que la totalidad de la sociedad mexicana emprende con la finalidad de reducir los impactos y la vulnerabilidad de la misma ante un sismo.

Así pues, en este trabajo, nos enfocarnos principalmente en el tema de la prevención de fallas estructurales a través del estudio y análisis sistémico de las vulnerabilidades estructurales, las cuales, dicho sea de paso, pueden deberse a malos proyectos arquitectónicos; independientemente de consideraciones teóricas epistemológicas de que si las estructuras deben o no ser tratadas específicamente en el discurso proyectual de la arquitectura, es un hecho que una adecuada e inteligente intervención de los arquitectos en este tema puede ser la diferencia que evite que una situación de riesgo se convierta en una situación de catástrofe.

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, hemos decidido seguir un proceso metodológico partiendo de lo general (los desastres) a lo particular (la vulnerabilidad estructural en las obras arquitectónicas del distrito federal) tratando de abordar en calidad y profundidad cada uno de los tópicos ejes de los que se compone este trabajo y que hemos desarrollados en el siguiente orden.

En los antecedentes analizaremos los diferentes fenómenos tanto naturales como humanos que pueden degenerar con facilidad en una catástrofe cuando no se toman las medidas adecuadas de prevención; esto nos permitió situar con precisión el campo de conocimiento de esta investigación, así como repasar, a través de la catástrofe de 1985 en México, el daño que es capaz de causar un sismo cuando no se han tomado las medidas necesarias para la mitigación de las vulnerabilidades estructurales en las obras arquitectónicas.

Posteriormente, planteamos nuestras preguntas de investigación y nuestros objetivos con los cuales nos guiamos en el proceso de investigación, indagando la forma en que los arquitectos pueden contribuir a prevenir desastres estructurales.

Al comienzo del marco de referencia fijamos nuestra postura en lo referente a la labor del arquitecto y la relación que ésta tiene con las estructuras.

Posteriormente, analizamos los orígenes de los sismos, así como sus características, tras lo cual estudiamos las particularidades sísmicas propias de la Ciudad de México en donde nos vimos precisados a ahondar de forma especial en las condiciones del terreno desde sus orígenes, hasta sus propiedades físico-químicas, con el fin de justificar la importancia que éste desempeña en desarrollo de un terremoto.

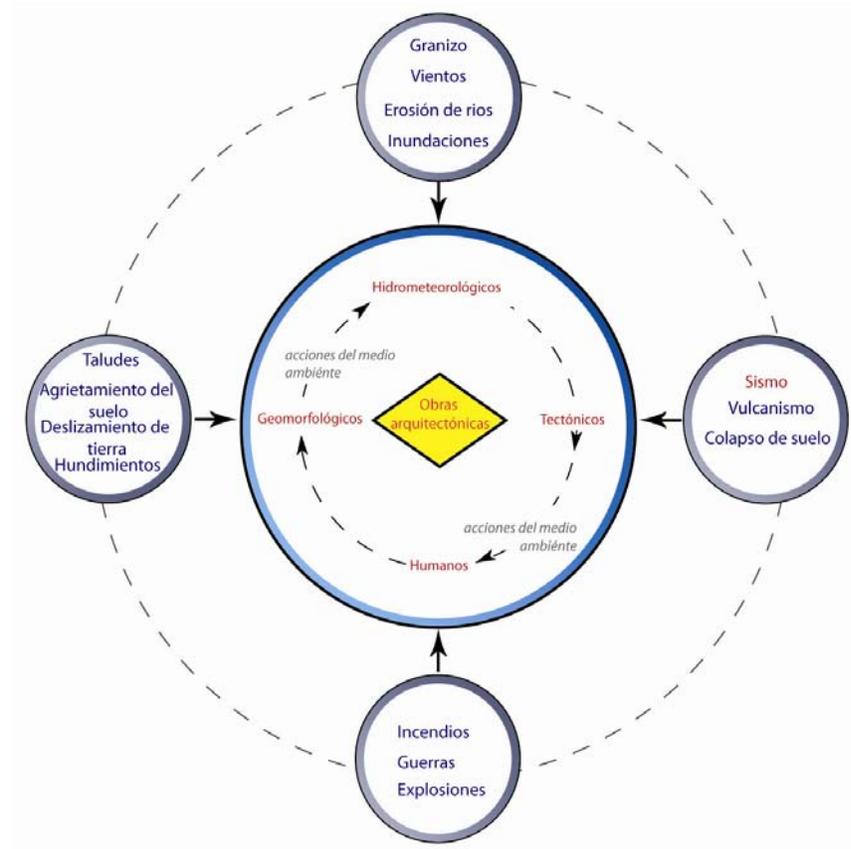
Para finalizar, la etapa de la revisión documental, concluimos con un repaso de la normatividad para la construcción vigente en la Ciudad de México que necesaria para comprender la posición y los tecnicismos propios de los especialistas consultados para obtener los resultados principales de esta investigación.

Finalmente, se aplicó el experimento y se obtuvieron a satisfacción los resultados que respondieron a nuestras preguntas rectoras y a nuestros objetivos de investigación; así pues, esperamos con toda honestidad que este documento sea útil para reforzar la conciencia y responsabilidad que tenemos los Arquitectos del país en la prevención de desastres que vulneran y afectan a nuestra sociedad.

2. ANTECEDENTES

Los desastres en las obras arquitectónicas pueden producirse en cualquier momento por causas atribuibles al hombre o como consecuencia de los fenómenos naturales.

En el cuadro 1 los círculos externos ilustran algunos de las principales amenazas a las que puede estar sometida una obra arquitectónica.



Cuadro 1. Elaboración propia



Inestabilidad de laderas

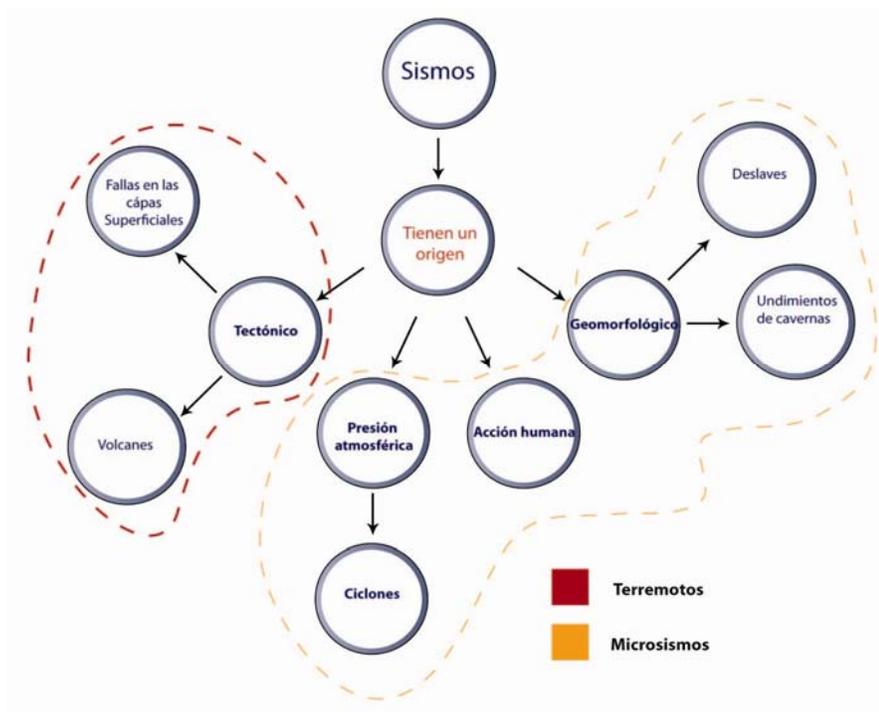


Incendios



Vulcanismo

Aunque no es posible evitar que los fenómenos naturales sucedan, sí se puede minimizar sus efectos con una adecuada cultura de la prevención y de la participación activa de todos los agentes sociales.



Cuadro 2. Elaboración propia

En el cuadro 2 están representados los diferentes fenómenos que pueden ocasionar un terremoto o sismo.

Éstos pueden deberse a la presión atmosférica, como cuando hay ciclones; a la geomorfología¹ que produce temblores por el hundimiento de cavernas y por

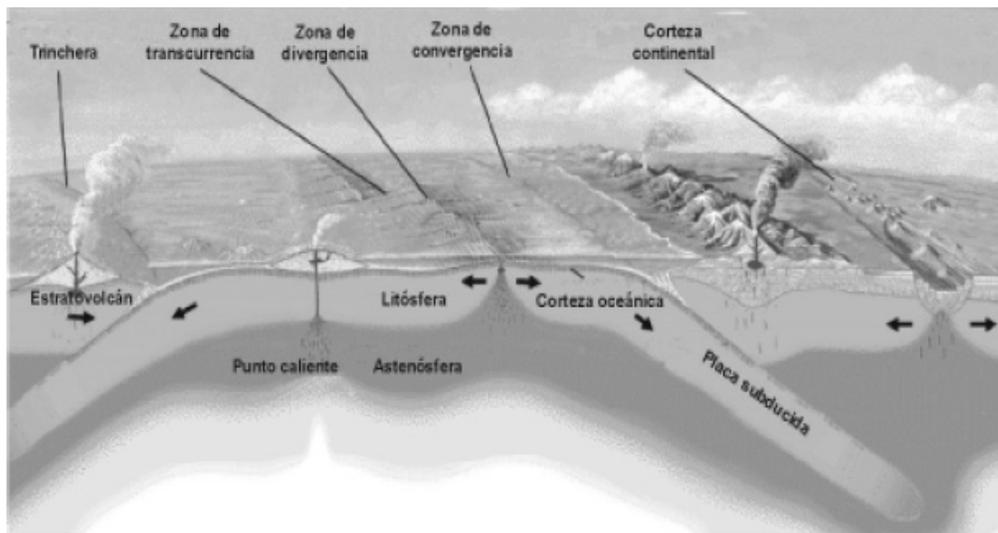
¹ Debido a causas atribuibles a la corteza terrestre

deslaves. Sin olvidar las causas humanas provocadas por explosivos y por la deforestación cerca de algún talud².

Los sismos también pueden originarse por causas atribuibles a los volcanes o al choque de las placas tectónicas³ que liberan energía en el curso de una reorganización brusca de materiales de la corteza terrestre al superar el estado de equilibrio mecánico.

En este documento nos concentraremos en los sismos, producto de la reorganización de las placas tectónicas, y los entenderemos como: “Un movimiento vibratorio que se origina en el interior de la Tierra y se propaga por ella en todas direcciones en forma de ondas” [en línea].

<http://sismologia.cicese.mx/resnom/principal/FAQ.php> 19/08/08



Comportamiento de placas tectónicas

Siendo justamente este tipo de movimiento el que se registró el 19 de septiembre de 1985 en el Distrito Federal el que causó que muchos edificios

² Talud es una pendiente pronunciada en un terreno

³ Las placas tectónicas son fragmentos de litósfera que se desplazan como un bloque rígido sin presentar deformación interna sobre la astenósfera de la Tierra.

sufrieran asentamientos excesivos e inclinaciones importantes, incluso el derrumbe total de varias estructuras.



Estructuras colapsadas

Según un cartel publicado por el Centro Sismológico Nacional (consultar anexo 1) la energía liberada por el sismo fue equivalente a 1,114 bombas atómicas de 20 kilotonnes cada una⁴; sin embargo, las cifras escritas a continuación ilustran de mejor forma la magnitud del daño ocasionado por el terremoto de 1985 en la Ciudad de México.

“Cantidad de edificios destruidos: 400, incluyendo hospitales como el Juárez, Hospital General y condominios como el Multifamiliar Juárez y el Nuevo León en Tlaltelolco, escuelas y algunos como el emblemático Hotel Regis.

Más de 40 mil sobrevivientes rescatados con vida de los escombros: 4 mil 100. Inmuebles expropiados: cerca de 6 mil Edificios demolidos en los primeros meses.

Cantidad de escombros recogidos en los meses posteriores: 2 millones 388 mil 144 metros cúbicos.

En los primeros meses se contabilizaron 800 viajes de camiones de volteo al día. Sólo para despejar 103 vías consideradas prioritarias se retiraron un

⁴ Un kilotón o kilotonelada es una unidad de masa que equivale a mil toneladas

millón 500 mil toneladas de escombros (110 mil 600 viajes de camiones de volteo)". (<http://www.jornada.unam.mx/2005/09/11/mas-jesus.html> 14/09/08)

La destrucción provocada por aquel sismo conmovió a la sociedad mexicana y provocó la solidaridad de varios países quienes, además de enviar víveres, medicamentos y ropa, también enviaron socorristas, médicos y equipos con la finalidad de mitigar el daño causado por el terremoto.

La tabla siguiente muestra los insumos recibidos en México tras el mencionado sismo.

	RECIBIDOS	PIEZAS	UTILIZADOS
CONCEPTO	cajas/paquetes		piezas
Medicamentos (analgésicos, sedantes, antibióticos)	5.493	28.614	27.595
Jeringas desechables	1.014	67.800	10.080
Agujas ^a	710	12.950	12.600
Antisépticos ^a	128	2.007	368 Lt.
Material de inmovilización ^a	159	-0-	6.426
Apósitos, (gasas, tela adhesiva, torundas, algodón, etc.) ^a	2.428	8.923	10.332 Mt.
Soluciones	3.808	4.650	6.778 Lt.
Anestésicos	42	608	2.500
Material quirúrgico	2.166	5.393	789
Equipos rayes X (aparatos, películas)	133	-0-	1.879
Productos biológicos	10	200	50.000 Dos.
Sangre y sus derivados	231	-0-	1.732 Unid
Material médico no clasificado	20.469	26.574	-0
Otros (incluye: mantas, tiendas de campaña, alimentos, ropa, etc.)	13.969	2.789	-0
Equipos de rescato y salvamento para remoción de escombros, grúas y remolques	540	6.421	-0-
TOTAL	51.293	166.929	---

Tabla 1. Insumos de la comunidad internacional enviados a México tras el sismo de 1985 tomado de <http://nzdl.sadl.uleth.ca/cgi-bin/library?a=p&p=home&l=en&w=utf-8>

Dicho terremoto ha inspirado trabajos de toda índole, desde poemas y reportajes periodísticos, hasta trabajos científicos y tecnológicos, nacionales e internacionales, orientados a la prevención de este tipo de desastres en la Ciudad de México siendo este documento, sin lugar a duda, uno de los que se cuentan entre ellos.

Así pues, en México no debemos olvidarnos del sismo de 1985 porque de acuerdo a Jorge Abraham Díaz (2006, p.111) “La región en donde se ubica la Ciudad de México tiene alta sismicidad” razón por la cual en el Distrito Federal debemos mantenernos siempre actualizados y preparados para enfrentar con éxito otra posible catástrofe como la antes mencionada.

3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) los sismos “(...) han estado presentes a lo largo de toda la historia geológica del planeta y, por tanto, seguirán presentándose obedeciendo a patrones de ocurrencia similares”. (CENAPRED 2001a, p.32).

Tras lo cual, en la Ciudad de México, habrá de estarse preparando continuamente en materia de prevención dado que los terremotos han sido el principal agente de desastres arquitectónicos-estructurales, cuyas consecuencias han derivado en incuantificables pérdidas de vidas humanas y bienes materiales (consultar anexo 2)

Es por ello que es primordial considerar seriamente el papel que los arquitectos desempeñamos en la prevención de desastres, con la finalidad de evitar convertirnos en un factor más de riesgo para las personas y sus posesiones.

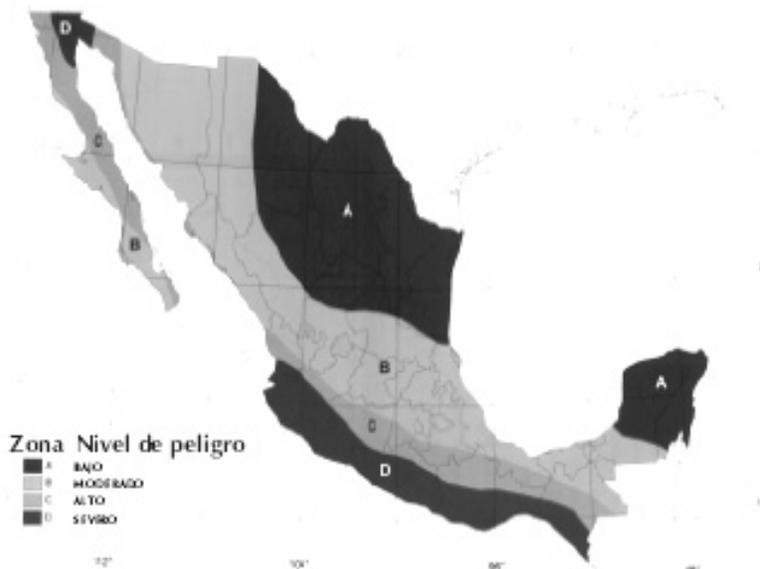
Razón por la cual, con esta investigación, se espera acrecentar el acervo de conocimientos de la arquitectura en la Ciudad de México, en materia de

prevención de desastres estructurales causados por sismos, para que los arquitectos podamos diseñar proyectos libres de toda negligencia e ignorancia y atendiendo de manera primordial la estabilidad de las edificaciones.

4. DEMARCACIÓN DEL PROBLEMA

4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de México es, por su ubicación geográfica, especialmente propensa a sufrir movimientos telúricos (sismos). La responsabilidad de evitar catástrofes en las edificaciones es de todos los profesionistas vinculados al diseño y a la construcción de las mismas. Por esta razón, es importante que se investiguen y se determinen las causas proyectuales que son responsables de que una estructura arquitectónica se dañe o colapse en presencia de un sismo, con la finalidad de poder dotar a las obras arquitectónicas de atributos que les permitan ser más resistentes, estables y por consecuencia seguras para sus habitantes.



Regionalización sísmica de la República Mexicana

4.2. PREGUNTAS RECTORAS

1.- ¿De qué manera influye el proyecto arquitectónico en las fallas estructurales ocasionadas a causa de los sismos?

2.- ¿De qué forma puede un arquitecto contribuir a evitar dichas fallas estructurales en sus proyectos?

4.3 OBJETIVOS

4.3.1. OBJETIVO GENERAL

Indagar los requerimientos necesarios para proyectar obras arquitectónicas en la Ciudad de México que sean más resistentes ante los fenómenos sísmicos.

4.3.2. OBJETIVOS PARTICULARES

1.- Determinar y Analizar los errores más comunes que se cometen al diseñar obras arquitectónicas en la Ciudad de México y que las vuelven susceptibles de colapsarse en presencia de un sismo.

2.- Desarrollar una propuesta metodológica que permita a los arquitectos prevenir desastres estructurales al momento de proyectar.

5. CONSECUENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN

Como se pondrá de manifiesto en este documento, la mayoría de los arquitectos de la Ciudad de México se ha mantenido al margen de la cultura de

prevención de riesgos, específicamente en la prevención de fallas estructurales; esto se debe primordialmente al mito muy difundido por algunos teóricos los cuales aseguran que los conocimientos estructurales corresponden a otras profesiones ajenas a la arquitectura.

Nosotros, por el contrario, estamos convencidos de que, con el fin de contribuir a evitar fallas estructurales que puedan degenerar en catástrofes, los arquitectos tenemos que profundizar más en el conocimiento del comportamiento de las estructuras en relación a la organización de los espacios arquitectónicos y darles el atributo a nuestros proyectos de tener un comportamiento razonablemente eficiente y menos riesgoso bajo la acción de fuerzas gravitacionales y accidentales tales como sismos, viento y empujes de agua y tierras.

Así pues, en este documento, trataremos de aportar evidencia suficiente para demostrar que la coherencia entre el proyecto de los sistemas arquitectónicos y los sistemas estructurales es responsabilidad del arquitecto, así mismo ofreceremos a los interesados una investigación que les permita, diseñar obras arquitectónicas considerando desde el principio el factor de la estabilidad.

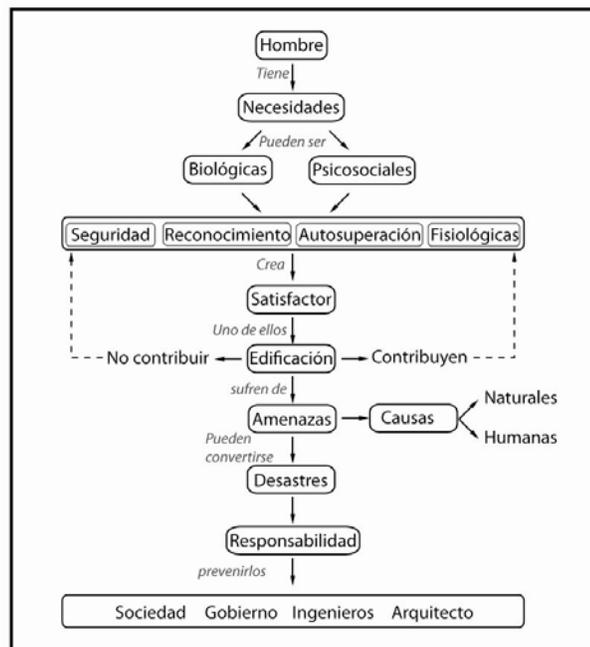
6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. INTRODUCCIÓN AL MARCO DE REFERENCIA

La seguridad es una de las más importantes necesidades que el humano tiene y es, sin duda, ésta la que dio origen a las primeras construcciones con las que el hombre esperaba protegerse de la lluvia, los animales y otras amenazas que lo circundaban.

Paradójicamente, como en muchas otras cosas a la par que conseguía protegerse de algunas amenazas generaba “*ipso facto*”⁵ otros peligros de otra clase; (por ejemplo el quedar atrapado en su vivienda en un incendio o por los escombros de su propio hogar a causa de un sismo), razón por la cual fue necesario que personas con conocimientos y capacidades especiales fueran los encargados de diseñar y construir las edificaciones que protegieran a las personas de la naturaleza y, en algunas ocasiones, hasta de sí mismas.

En el cuadro 3 se ilustra de forma más detallada las necesidades que el hombre tiene, pudiendo descomponerlas, para su análisis, básicamente en dos: las de origen psicosocial y las de origen biológico.



Cuadro 3. Elaboración propia

De las necesidades expresadas en el cuadro 3, surgen los requerimientos básicos para el diseño de las edificaciones (así como de casi cualquier artefacto), siendo el estilo arquitectónico el que refleja los valores y las necesidades sociales,

⁵ *Ipsa facto* expresión latina que significa “por el acto” o “por el mismo hecho”

independientemente de la obra que se construya (casas, fábricas, hoteles, aeropuertos o iglesias).

De cualquier forma, la arquitectura no depende sólo del gusto estético, sino que tiene en cuenta una serie de cuestiones prácticas, estrechamente relacionadas entre sí, tales como la elección de los materiales, la disposición y organización de los elementos estructurales, así como la conexión entre los mismos (diseño del sistema estructural⁶), con el fin de que la edificación resista las acciones a las que estará sometida.

Así pues, un proyecto arquitectónico debe ser el resultado de una serie de respuestas inteligentes que se dan a cada una de las necesidades humanas, tras lo cual los requerimientos del proyecto han de ser considerados de forma holística⁷; sin embargo, no debe ser ésta razón para evitar jerarquizar dichos requerimientos atendiendo a su importancia, por lo que para la mayoría de los códigos de diseño sísmico la variable primordial a considerar durante el proyecto es “la seguridad de las vidas humanas” (Safina 2002, p.30)

Por este motivo, no debemos pasar por alto que no sólo los daños estructurales producidos durante un sismo pueden poner en riesgo la integridad de las personas, también algunos otros elementos del proyecto pueden ser factores de riesgo para los habitantes durante un terremoto, por ejemplo, la rotura de vidrios y los daños en las instalaciones que podrían degenerar fácilmente también en un desastre.

En la Ciudad de México considerar la sismicidad para diseñar las edificaciones debe ser un factor primordial dado que el CENAPRED la tiene catalogada 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, p. 38), así como que las propiedades del terreno donde está

⁶ sistemas estructurales.- Conjunto de elementos conectados entre sí para cumplir objetivos estéticos, funcionales, económicos y de estabilidad.

⁷ del griego (*holos* que significa «todo», «entero», «total»)

asentada no contribuyen en nada a frenar los embates de las ondas sísmicas sino, por el contrario, las magnifican.

Por ello, los arquitectos y, en general, cualquier persona interesada de una u otra forma en la construcción, no pueden más que estar de acuerdo con Manuel Argüello (2006, p. 1)

“Evitar producir viviendas en condiciones permanentes de riesgo implica valorar las múltiples amenazas y escoger materiales, estructuras y formas que soporten y sean flexibles para adaptarse a nuevas condiciones luego de los impactos”.

Cuando lo anterior es ignorado por desconocimiento o por negligencia, las amenazas suelen convertirse en desastres, como bien apunta el Dr. Roberto Arroyo (2005, p.29).

“Un terremoto es a veces definido como una catástrofe natural. Esto es una equivocación, ya que la mayoría de las veces, lo que provoca las catástrofes son las malas prácticas constructivas”

Con la finalidad de evitar las catástrofes, cada uno de los actores sociales desempeñan un papel bien determinado en materia de prevención de desastres.

Por un lado, el gobierno federal y los municipales crean leyes y organizaciones para capacitar a los ciudadanos, además de destinar recursos cuya obligación es salvaguardar la integridad física y psicosocial de las personas.

Por otra parte, la sociedad civil se prepara haciendo simulacros, además de respetar los reglamentos y leyes que se han establecido con este fin y atendiendo las instrucciones que le son dadas por las autoridades pertinentes. Asimismo, los ingenieros y los científicos desarrollan conocimientos y tecnologías aplicándolas con miras a la prevención de desastres.

Sin embargo, da la impresión de que los arquitectos quedamos por completo rezagados y auto excluidos de la cultura de la prevención de desastres a pesar de que en los diferentes reglamentos de construcción en el mundo se introducen recomendaciones y responsabilidades para ellos (por ejemplo, en Colombia, la norma NSR-98 y en México, el reglamento de construcción de la Ciudad de México)

Empero, los temas como la prevención de desastres y las estructuras no parecen ocupar un lugar primordial en el discurso proyectual de la arquitectura mexicana, pese a que el territorio mexicano se vea permanentemente amenazado por sismos.

Por este motivo, pensamos que las estructuras deben ser un tema central en toda discusión seria de arquitectura en el país dado que, de lo contrario, estaríamos renunciando a los fundamentos y la razón misma de ser de la arquitectura cada vez que las edificaciones dejan su función social a un lado, poniendo en riesgo la integridad física de las personas y sus posesiones.

6.2. ARQUITECTURA Y ESTRUCTURAS

La arquitectura tiene dos bloques constitutivos en cuanto que es un arte y es también una ciencia; ésta es la razón por la que puede ser apreciada emocionalmente y debe ser comprendida intelectualmente.

La necesidad de solidez -y seguridad- de toda obra arquitectónica es la que la liga indefectiblemente a la norma científica; por esta razón, “el análisis histórico más común ha considerado a la estructura como el material específico del arquitecto” (Godoy 1986, p.6). Esto es porque su diseño forma parte importante y debe ser integrante de la obra arquitectónica como se puede constatar en la historia de la arquitectura, donde no se trata explícitamente el tema de las estructuras, aunque sí de forma implícita, por ejemplo, cuando se escribe sobre el tema de materiales para la edificación y elementos arquitectónicos (muros, arcos, bóvedas Etc.), se dan lineamientos sobre los materiales a utilizar, el terreno, el tipo

de cimentación y otras indicaciones; así es porque, al escribir sobre elementos arquitectónicos, realmente se trata de elementos estructurales.

Y esto fue así porque las estructuras fueron el campo técnico del arquitecto hasta la llegada del siglo XIX, en el cual se introdujo el cálculo estructural de acuerdo a Jesús Godoy (1986, p. 12), manifestándose así una escisión y un alejamiento gradual y peligroso del arquitecto en dicha materia, ya que dejó de ser dato de partida la estructura para hacer arquitectura. Esto ocasionó que en muchas ocasiones haya sido ignorada la estructura, en el mejor de los casos, como expresión arquitectónica y, en el peor, haciendo que a consecuencia de esta omisión las personas arriesguen innecesariamente su vida y la de sus seres queridos, así como sus posesiones.

Lo anterior obedece a que durante el proceso proyectual se suele omitir negligentemente el diseño estructural, o bien, se realiza limitadamente dejando al asesor estructural la toma de decisiones respecto al sistema estructural el cual, al no conocer ampliamente el proyecto y los antecedentes de la organización de los espacios arquitectónicos, proporciona soluciones forzadas, pensando solamente en objetivos estáticos o en alardes de ingeniería.

Aún en la actualidad existen autores de la arquitectura que continúan soslayando el tema de las estructuras, a pesar de los grandes desastres estructurales que se han sufrido en todo el mundo producto de los terremotos (por ejemplo el terremoto de California del 9 de febrero de 1971 el de Chile el 3 de marzo de 1985 o el de Kobe Japón del 17 de enero de 1995 sin olvidar claro el del 19 de septiembre de 1985 en México por mencionar sólo un muy reducido número de ellos). Dichos “eruditos” piensan que un arquitecto que desconoce de estructuras no tendrá ningún tipo de responsabilidad ante una catástrofe provocada por un sismo, conformándose así de una manera un tanto “cómoda” a reducir el papel de la arquitectura a los “dibujos” que consideran obligación de los ingenieros construir. Y cuando se ven interpelados acerca del papel de las estructuras en la arquitectura, responden en un tono molesto y apresurado que

“hablar de estructuras no es hablar de arquitectura que es mejor dejar este tema en manos de la ingeniería”, obligando así a los ingenieros a calcular proyectos estructurales irregulares, y riesgosos ya 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, 1970, p.5). El reglamento de construcción para el Distrito Federal manifiesta que:

“El proyecto de las edificaciones debe considerar una estructuración eficiente para resistir las acciones que puedan afectar la estructura, con especial atención a los efectos sísmicos” (Reglamento de Construcción para el Distrito Federal 2004 Art.140)

Puesto que el arquitecto es el encargado de proyectar la edificación, no debe pasar por alto plantear en su diseño una estructura regular⁸ y estable que pueda dar mayor certidumbre a los cálculos hechos por el especialista ya que, aunque éste se decida a ser más conservador y refuerce la obra (con su correspondiente aumento de costos), jamás se tendrá una certeza plena en los cálculos, y el usuario estará viviendo en condiciones permanentes de riesgo por culpa de un proyecto deficiente.

Lo anterior quedó claramente documentado en el año de 1986 cuando, convocados por el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y el National Research Council, se reunieron expertos mexicanos con expertos estadounidenses para elaborar una investigación que les permitiera aprender del sismo de 1985 en México; así pues, dedicaron uno de los siete capítulos que componen el informe a los problemas arquitectónicos. Dicho capítulo versa sobre los problemas relacionados con la influencia de las decisiones arquitectónicas sobre el comportamiento sísmico en las edificaciones, lo que incluye entre, otras

⁸ Ver capítulo 6 de las normas complementarias para diseño por sismo del reglamento de construcción para la ciudad de México.

cosas, las decisiones en el diseño conceptual que determinan la forma del edificio y la disposición de los principales elementos que influyen en su diseño y comportamiento estructural, además de incluir el comportamiento de los elementos que, junto con la estructura, constituyen el edificio, la relación entre el comportamiento sísmico del equipamiento y el contenido del edificio para la funcionalidad después del terremoto.

Por lo anterior, es necesario señalar que la forma arquitectónica es “(...) también resultado de las fuerzas distintivas del contexto donde se encuentran” (Baker 1997, p.4), y esto es principalmente relevante en el contexto de la Ciudad de México.

Así pues, es necesario adoptar, para seguridad de la sociedad, un enfoque constructivista, metodológico y científico en la arquitectura (sin descuidar la estética y las cuestiones ergonómicas de las mismas), dadas las condiciones que la naturaleza del Distrito Federal impone a la obra arquitectónica.

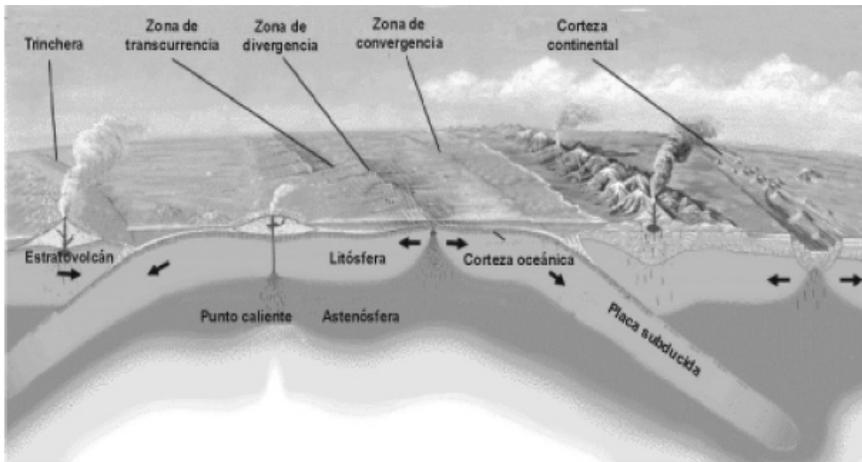
Así pues, para fines de este documento, entenderemos **Arquitectura** como una actividad proyectual que **consiste en planear, diseñar y construir estructuras estables, en forma de espacios habitables**, cuya función principal es cubrir necesidades de tipo sociales y culturales, considerando factores como la distribución del espacio, su economía y la belleza de las mismas.

6.3. SISMICIDAD

6.3.1. ¿QUE SON LOS SISMOS?

Los sismos o terremotos son súbitas liberaciones de la energía acumulada bajo la corteza terrestre a consecuencia de las tensiones y presiones que ocurren en su interior, manifestándose en forma de vibraciones, desplazamientos y movimientos diversos de la superficie de la corteza terrestre, siendo la sismología la ciencia encargada del estudio de las vibraciones y movimientos bajo la acción

de fuerzas naturales, determinando su origen, formas de propagación y estructura interna de la corteza terrestre.



6.3.2. FUNDAMENTOS DE LA SISMICIDAD

Las altas presiones, temperaturas y la radiactividad en el interior de la tierra al momento de formarse, hicieron que se produjeran grandes reacciones nucleares que fundieron el material metálico de su núcleo, constituido por materiales muy pesados que permanecen derretidos.

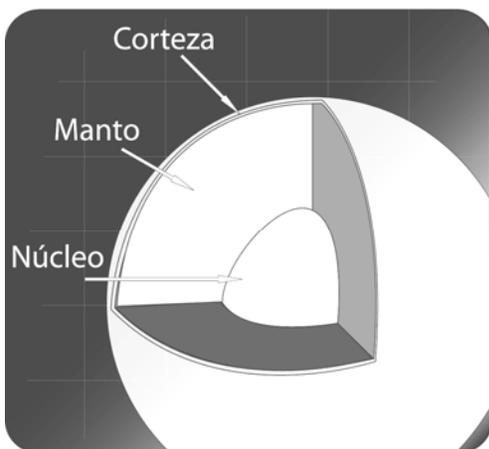


Ilustración 1. Modelo esquemático de la tierra elaboración propia

El manto (ver ilustración 1), aunque tiene temperaturas más bajas que el núcleo, derrite las piedras que contiene produciendo, de esta manera, el magma, se comporta como líquido y se desplaza por un fenómeno llamado “convección”, originado por la diferencia de temperaturas entre el núcleo y la parte externa del manto, haciendo que la roca fundida suba desde el núcleo hasta la corteza y una vez frío regrese al núcleo de manera cíclica.

Los continentes y el fondo del mar constituyen la corteza o “capa externa” (ver ilustración 1) la cual es una capa muy delgada y fría por lo que, con el tiempo, se ha fracturado, formándose así las llamadas placas tectónicas, las que, debido al movimiento del magma, son arrastradas produciendo choques o movimientos en los bordes donde se rozan en las zonas llamadas “de subducción” como se aprecia en la ilustración 2.

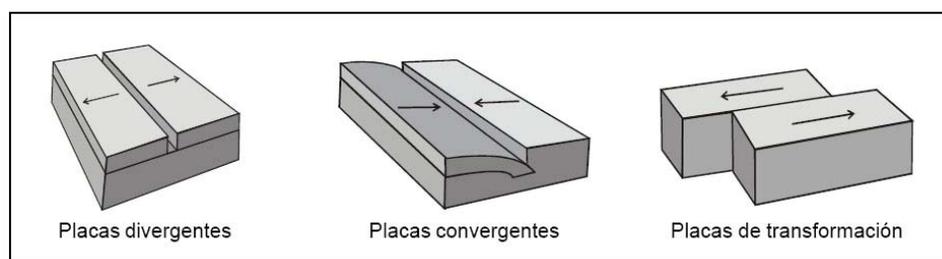


Ilustración 2. Tipos de límites entre las placas (CENAPRED 2001b, p.7)

Asimismo, las corrientes de convección provocan que las placas penetren unas debajo de otras haciendo que las de la corteza se fracturen.

De acuerdo al Dr. Arroyo (2005, p. 13), por esta razón las principales zonas sísmicas coinciden con los contornos o los bordes de las placas tectónicas y con la posición de las cadenas volcánicas y montañosas.

Los sismos de mayor intensidad se producen por el desplazamiento repentino entre dos placas al ser superada la fuerza de fricción que hay entre ellas, generándose una ruptura que libera energía y que se propaga por la corteza, haciéndola vibrar. De acuerdo al SENA (2007, P. 15), existen cuatro tipos de ondas sísmicas fundamentales: dos son internas (se propagan por el interior de la

tierra) y son de compresión (llamadas también ondas P) las cuales comprimen y expanden la roca en intervalos X de tiempo y de cizallamiento (llamadas también ondas S) y dos externas que son las ondas de Love y de Rayleigh.

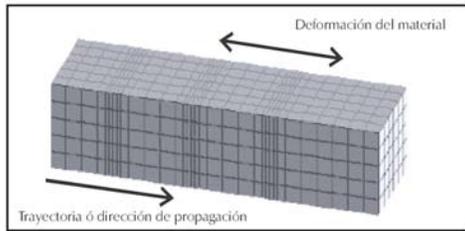


Ilustración 3. Onda P (CENAPRED 2001b,p.9)

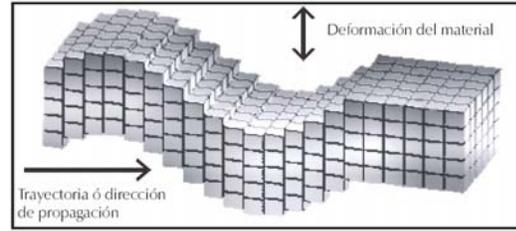


Ilustración 4. Onda S (CENAPRED 2001b,p.9)

Las ondas p se propaga a través de sólidos, líquidos y la atmósfera; de acuerdo al CENAPRED (2001b, p.9), las personas y animales las han percibido por un sonido grave y profundo. Mientras que las ondas S no se transmiten en fluidos tales como los gases y el agua.

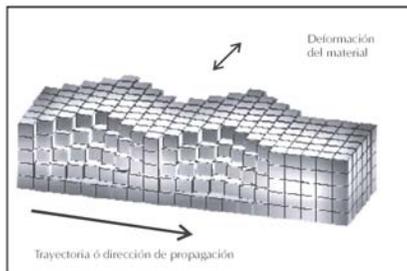


Ilustración 5. Onda sísmica Love (CENAPRED 2001, p.10)

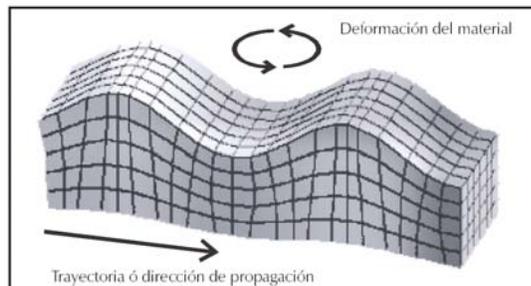


Ilustración 6. Onda sísmica Rayleigh (CENAPRED 2001, p.10)

Las ondas love deforman la roca en forma similar a las ondas S, aunque sólo horizontalmente, mientras que las ondas Raleyg tienen un movimiento vertical y ondulante.

El punto que se encuentra en la profundidad de la corteza en la que empieza a romperse o tiene lugar un rozamiento o choque de rocas es llamado “foco” o “hipocentro”, éste es el centro de la perturbación mecánica y “desde allí se

inicia la irradiación de la energía” (SENA 2007, p. 16); y el punto en la superficie directamente sobre el hipocentro se le denomina “epicentro”.

La magnitud de un sismo depende de la energía liberada y es una medida universal, mientras que la intensidad clasifica los efectos que la magnitud de un terremoto produce sobre la tierra los edificios y la gente, y este valor varía según el lugar y dependiendo qué tan lejos se esté del epicentro del sismo.

Con el fin de medir tanto la magnitud como la intensidad, se desarrollaron dos escalas de medida; la escala de Richter mide la magnitud, es decir la energía liberada en el foco del sismo a través de una escala logarítmica con valores que van del 1 al 9 donde “un grado de magnitud implica, en términos de energía liberada una diferencia de 32 veces”(CENAPRED 2001b, p.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 ello se sirven en las mediciones de los sismógrafos, mientras que la escala de Mercalli mide a través de un cuestionario la intensidad de los efectos que fueron percibidos en el lugar del sismo (ver anexo

Posterior a los sismos, suelen presentarse las réplicas 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.

Los sismos de manera colateral, además de réplicas, pueden generar tsunamis, maremotos, avalanchas, licuación de arenas etc.

De acuerdo a Shri Krishna Sigh (1986) México es una zona de alta sismicidad; esto obedece a que las placas de Cocos y de Rivera, que se encuentra 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.

En la falla de esta zona del Pacífico se acumulan grandes cantidades de energía que al liberarse provocan los grandes sismos que afectan a nuestro país.

Según el CENAPRED (2001b, p. 19), los estados más afectados por los sismos son Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Puebla, Oaxaca, Chiapas, y el Distrito Federal.

Además, a ello hay que agregar que “Don Antonio de Alzate, un naturalista del siglo XVIII, con sus estudios descubrió que los temblores afectaban mucho más a las zonas donde había construcciones sobre suelo blando” (Arroyo 2005, p. 19) el cual es otra de las características de la Ciudad de México, como se atenderá en el siguiente capítulo.

6.3.3 ORÍGENES Y PROPAGACIÓN DE SISMOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

La ciudad de México está situada en una planicie lacustre en la cuenca de México. Dicha cuenca ocupa un área de aproximadamente 9,600 km² situada a 2,250 m sobre el nivel del mar, en el extremo sur de la Mesa Central. La cuenca de México tiene un contorno irregular, alargado de norte a sur, de aproximadamente 125 km de largo y 75 km de ancho. Está rodeada por altas montañas, limitada al norte por las sierras de Pachuca, Tepotztlán, Guadalupe, Patlachique y Tepozán. Al sur, está limitada por la sierra de Chichinautzin, al este por la sierra Nevada, con sus picos Ixtaccíhuatl y Popocatepetl, con una altura media de 5,300 m. Al oeste la cuenca está limitada por la sierra de Monte Alto y de las Cruces

6.3.4 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

La cuenca de México permaneció abierta (exorreica) hasta aproximadamente hace 700,000 años, cuando una gran actividad volcánica formó una enorme cortina natural que es ahora la sierra de Chichinautzin, que cerró la cuenca (Mooser 1963, p.52) y obstruyó el drenaje que iba al río Balsas. Por esta razón, se almacenó agua y dio origen a varios lagos. Los ríos que descendían de

la sierras circundantes depositaron en potentes conos de deyección, materiales muy diversos al confluir los mencionados lagos.

La parte central de la cuenca se fue llenando con acarreos limo-arenosos, limo-arcillosos y emisiones de cenizas y pómez provenientes de los volcanes del sur. Al pie de las sierras, y por el brusco cambio de pendiente de los ríos, se localizan grandes depósitos aluviales de composición muy variable y estratificación cruzada o lenticular, evidencia de una dinámica erosiva debido a periodos de lluvia intensa.

6.3.5 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En 1324 los aztecas se asentaron en una pequeña isla llamada Tenochtitlán, localizada en el lago de México- Texcoco y fundaron una ciudad a la cual llamaron México-Tenochtitlán, formada por avenidas y canales ordenados alrededor de un centro ceremonial integrado por pirámides, así como de templos altos y palacios.

Los aztecas transformaron el lago en chinampas (manzanas de tierra muy fértil), construidas con un marco de troncos atados con cuerdas que delimitaban el perímetro; el interior se rellenó con tierra y fragmentos de roca, con el objeto de crear una isla artificial, donde se cultivaron vegetales y flores.

La isla capital del imperio azteca se comunicaba con la rivera del lago mediante cuatro calzadas hechas con pilotes de madera, roca y tierra: (1) Tepeyac, (2) Tenayuca, (3) Tlacopan e (4) Iztapalapa. Las calzadas contaban con un sistema de puentes de madera. Mediante dos acueductos se proporcionaba agua fresca y potable al centro ceremonial. La ciudad estaba protegida de inundaciones mediante un sistema de diques. El principal fue el gran dique de Netzahualcóyotl, construido en 1449, el cual tenía aproximadamente 16 km de

longitud, 7 m de ancho y un trazo que unía Iztapalapa con Atzacualco. Este dique fue indudablemente la obra más importante de la ingeniería hidráulica azteca.

Después del sitio de 1521, los españoles conquistaron México-Tenochtitlan, arrasando los edificios hasta sus cimientos y fundando sobre sus ruinas la ciudad de México. Los españoles reconstruyeron la ciudad, con edificios estilo español en lugar de los templos y palacios aztecas. La ciudad fue creciendo, muchos de los canales prehispánicos se rellenaron con materiales gruesos y finos. En 1593, el primer Virrey Luis de Velasco ordenó la construcción de un área recreacional, mediante el relleno de un pequeña ciénega⁹, lo que dio origen al Parque Alameda.

“La ciudad de México tuvo un lento crecimiento hasta la década de los años 40 cuando se inició la construcción de edificios altos, entre los cuales destaca la Torre Latinoamericana” (Zeevaert 1957a, b).

6.3.6 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Tal y como lo menciona Argüello “La satisfacción de la necesidad de vivienda lleva a una serie de acciones constructivas que incluyen el uso de tierras inadecuadas para habitar” (Argüello, 2006.p3) y es ese el caso del terreno de la ciudad de México.

“Los suelos de la Ciudad de México son 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 micro estructura del suelo (Díaz-Rodríguez et al., 1998).

“El contenido de agua es mayor a 400%, el índice de plasticidad excede 300% y el índice de compresión Cc puede llegar a un valor de 10, cuando en la mayoría de los suelos es menor a 1”. (Díaz 2006, p.111). Estos valores son

⁹ Lugar pantanoso

indicativos de los problemas que se han tenido en el Distrito Federal para la cimentación de edificaciones elevadas y de gran peso.

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 et al., 1975; Díaz-Rodríguez et al., 1992, 1998).

De acuerdo a Krishna Sigh (1986), los daños en la ciudad de México suelen ser superiores a lo esperado, debido principalmente a la amplificación de las ondas sísmicas en la zona lacustre de la ciudad de México. “Existe una fuerte correlación entre la distribución espacial del daño asociado al evento de 1985 y la ubicación de los sedimentos lacustres; por tanto se tiene la certeza de que las características y propiedades del subsuelo de la ciudad de México desempeñaron un papel principal en tan desastroso evento” (Díaz 2006, p.111). Asimismo lo señala el CENAPRED, aseverando que donde hay áreas, generalmente valles aluviales, antiguas zonas lacustres, etc., “el movimiento sísmico será amplificado, produciendo intensidades mayores a las del entorno” (CENAPRED 2001a, p.47)

Ésta es la razón principal de que los suelos lacustres de la ciudad de México han sido fuente de muchos problemas serios de ingeniería. Los tres principales problemas a los que se enfrentan los ingenieros y los arquitectos durante el diseño y construcción de edificaciones y cimentaciones son:

- Las propiedades singulares de los sedimentos lacustres
- El hundimiento regional



En la figura anterior: una de las primeras cimentaciones construidas con pilotes de punta es la de la columna de la independencia la cual acusa lo que es el hundimiento regional, ya que originalmente no tenía el montículo el la base.

- La alta sismicidad

Lo relativo a las propiedades, tanto físicas, químicas, mineralógicas, hidráulicas y mecánicas (estáticas y dinámica).

6.3.7 ACCIÓN DE LOS SISMOS EN LAS EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Los daños que un sismo produce en las obras arquitectónicas dependen, en buena medida, de la capacidad que tienen éstas de soportar los movimientos producidos en el suelo y de las características específicas del sismo.

Datos históricos, estadísticos y probabilísticos demuestran la importancia que debe darse al diseño sísmico de estructuras en la ciudad de México, dado a los daños que estos eventos provocan a los sistemas estructurales que son cada vez más abundantes en las grandes ciudades

A pesar de los grandes esfuerzos realizados por el gobierno y las organizaciones para prevenir los desastres en la Ciudad de México, por ejemplo, el sistema de Alerta Sísmica y la red de observación sísmica del CENAPRED, “la herramienta más útil para abatir el riesgo por sismo en las grandes concentraciones urbanas es la buena calidad de la construcción. (CENAPRED 2001a, p.47) la cual, dicho sea de paso, tiene mayor importancia en las edificaciones llamadas “esenciales”, ya que estas contribuyen a hacer frente a un desastre tales como los hospitales, las estaciones de bomberos los refugios etc.

Con este fin analizaremos a continuación cómo se comporta una obra arquitectónica durante un sismo.

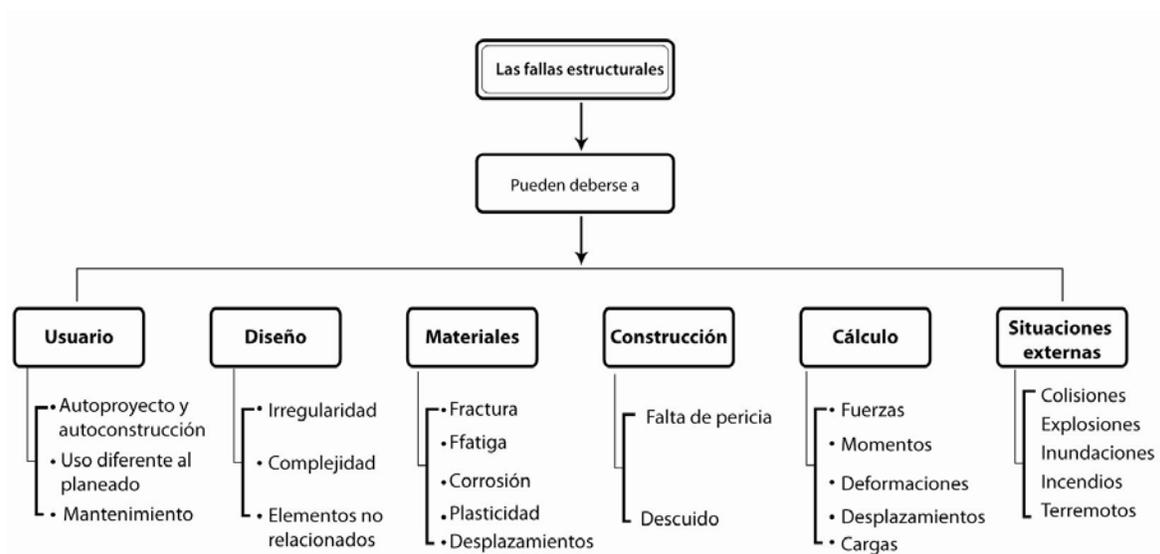
La obra arquitectónica recibe las vibraciones del suelo a través de la estructura, tras lo cual comienzan a moverse las cimentación y la parte inferior de la misma; la cimentación es el primer elemento en comenzar a moverse este, al estar situado en un suelo blando (como el suelo lacustre de la Ciudad de México), amplifica el movimiento debido a su propio peso. La parte superior, en un principio, se opone al movimiento, aunque gradualmente la azotea de la edificación trata de moverse con la cimentación, pero ésta ya se encuentra en otro lado mientras las ondas de choque golpean los muros los cuales tratan de abrirse, lo que puede ocasionar que se desplomen, producto de un efecto de chicoteo en la construcción. Mientras más altas sean las paredes, mayor velocidad y fuerza se desarrollará durante la evolución del evento.

Cuando el movimiento del sismo es paralelo a los muros de carga y a las paredes transversales se pueden producir grietas diagonales y al regresar grietas perpendiculares que pueden ir minando 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; esto se debe a que los muros golpean en diferentes direcciones.

6.4. CUESTIONES RELACIONADAS A LAS FALLAS ESTRUCTURALES

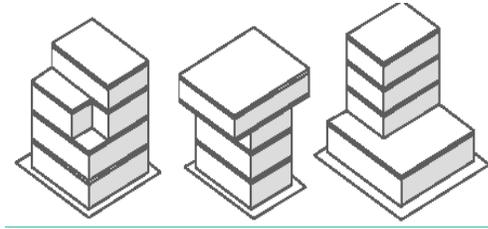
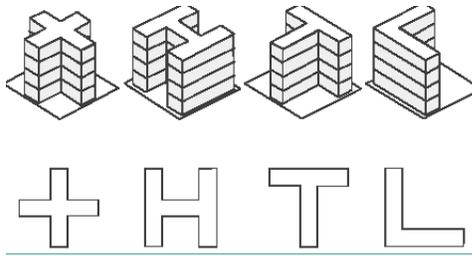
Durante la ocurrencia de un sismo existen diferentes elementos que son propensos a dañarse, tales como los elementos estructurales, las instalaciones, y otros elementos arquitectónicos, (ventanales y los muros divisorios, etcétera), así como el mobiliario y todo lo que esté contenido dentro de la edificación.

El cuadro 4 ilustra las diferentes causas que pueden estar implicadas en una falla estructural y por consecuencia en un desastre, dividiéndolas para su análisis en causas atribuibles a los humanos y en causas no atribuibles a los humanos, sin embargo, esta sutil línea de la división se vuelve especialmente difusa al abordar este tema. Por poner un ejemplo, un mal o buen diseño puede incluir una mala calidad de los materiales o estar sometida a situaciones externas cualesquiera, tras lo cual pueda ser difícil saber si una falla es o no causa de un error humano.

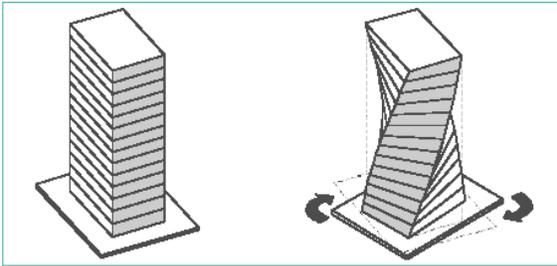


Cuadro 4. Elaboración propia

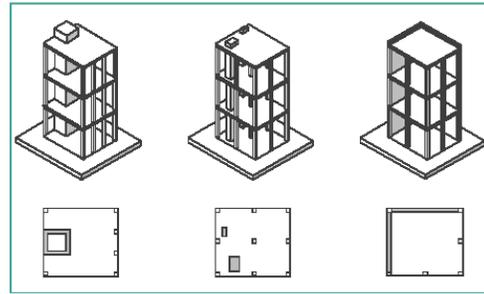
Sin embargo, en otras ocasiones puede no ser tan difícil saber lo anterior; tal es el caso de las obras que presentan irregularidades entre planta y altura (donde los cálculos que se realizan pueden no tener mucho que ver con la realidad), o por no tener los planos resistentes distribuidos uniformemente, entre otras muchas causas totalmente atribuibles al proyectista y que es el tema central de esta investigación, lo que, dicho sea de paso no pretende ser un libro de texto, por lo que no ahondaremos en cuestiones relativas a la estática y a la dinámica de las estructuras sino principalmente en cómo puede un arquitecto evitar cometer errores proyectuales que puedan representar el riesgo de que la estructura se colapse.



Torsión



Torsión por muros excéntricos



Tomadas del libro “Configuración y diseño sísmico de edificios de Christopher Arnold, Limusa México.

El concepto de vulnerabilidad sísmica se define como “predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente a sus características físicas y estructurales de diseño” (Barbat, 1998, P12), y es esta vulnerabilidad lo que el arquitecto debe procurar reducir en el momento mismo de proyectar una edificación con el fin de mitigar los desastres, reduciendo la vulnerabilidad a través de las “acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios a fin de reducir los costos de los daños esperados durante el terremoto” (Barbat, 1998, P16); por lo que para mitigar el riesgo sísmico de una zona, es necesario disminuir la amenaza, la vulnerabilidad, y el costo de reparación de las estructuras.

En este sentido, las actuales tendencias apuntan a una nueva concepción del diseño según la cual las edificaciones deben alcanzar determinados niveles de desempeño esperado para diferentes niveles del movimiento sísmico, en lo que se ha dado por llamar un diseño por multi-objetivo, donde la protección de

componentes no estructurales juega un papel determinante en la definición de los criterios de diseño.

La vulnerabilidad estructural está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes estructurales de sufrir daño debido a un sismo, lo que se ha llamado daño sísmico estructural; el mismo comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que forman parte integrante del sistema resistente o estructura de la edificación.

El nivel de daño estructural que sufrirá una edificación depende tanto del comportamiento global como local de la estructura. Está relacionado con la calidad de los materiales empleados, las características de los elementos estructurales, su configuración, esquema resistente y las cargas actuantes.

La naturaleza y el grado de daño estructural pueden ser descritos en términos cualitativos o cuantitativos, y constituyen un aspecto de primordial importancia para verificar el nivel de deterioro de una edificación, así como su situación relativa con respecto al colapso estructural, que representa una situación límite donde se compromete la estabilidad del sistema

El conocimiento adecuado de la amenaza sísmica junto con los tipos de suelo en un lugar determinado permite diseñar estructuras adecuadas con el fin de disminuir el daño que no es otra cosa que las deformaciones inelásticas (irrecuperables) de la estructura en cuestión.

Lo anterior depende principalmente 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.

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

Para fines de una clasificación, podríamos decir que existen dos tipos de daños a los que puede estar expuesta una estructura, y éstos son locales o globales. El primero se refiere a los daños en los elementos mientras el segundo se refiere al daño sufrido en toda la estructura o, en algunos casos, al daño sufrido en una parte de ésta (por ejemplo todo un piso).

El diseño de estructuras, basado en la resistencia sísmica propuesta en la normatividad, tienen como objetivo que las estructuras sean capaces de resistir sismos de baja intensidad sin sufrir daños estructurales significativos, sismos moderados con daños reparables y sismos de mayor intensidad sin que se produzca el colapso en la estructura.

6.5. NORMATIVIDAD

El reglamento de construcción de la Ciudad de México y sus normas complementarias se han ido actualizando constantemente a partir del sismo de 1985 y tiene como objeto garantizar la protección civil y la prevención de desastres. De acuerdo a Carlos Javier Mendoza Escobedo, uno de los responsables de elaborar el actual reglamento de construcción:

“fue a partir del sismo de 1957, que ocasionó diversos daños a las edificaciones del DF, que se comenzó a trabajar en el diseño de un reglamento de construcción que permitiera garantizar un mayor nivel de confianza a los habitantes del Distrito Federal, cuya primera edición apareció ese mismo año”
(<http://www.comunicacion.amc.edu.mx/noticias/desaprovecha-gdf-reglamento-vanguardista-contrasismos/> 11/10/08)

Dicho reglamento se modificó en 1985 y 1987 y se actualizó en 1993 y 2004. Este reglamento contempla la posibilidad de que pueda presentarse otro sismo como el de 1985 o incluso alguno de mayor magnitud, por lo que es de estudio obligado para todas las personas interesadas, de una u otra manera, en la construcción y en la arquitectura, ya que además de la seguridad de las

estructuras, también aborda temas tales como la habitabilidad, comodidad, accesibilidad y buen aspecto de las obras arquitectónicas, abordadas en el título uno, capítulo quinto, artículos de 74 al 128. Por otro lado, hay que señalar que el reglamento incluye también las normas técnicas complementarias para diseño por sismo, las cuales tienen como objetivo que, durante un sismo máximo probable, no se presenten fallas estructurales considerables ni pérdida de vidas humanas.

En capítulo IV sección quinta capítulo sexto de los artículos del 137 al 185 se abordan las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para realizar la estructura clasificándolas en construcciones del tipo A o B.

Las del tipo “A” son aquellas edificaciones que constituyen un mayor peligro que las del tipo “B” a razón de que se utilizan para almacenar sustancias tóxicas o explosivas, o bien, que sirven para hacer frente a emergencias urbanas tales como estaciones de bomberos, hospitales, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, archivos públicos de particular importancia, etcétera. Y las construcciones del tipo “B” son las utilizadas para vivienda o para ofrecer servicios, así como industrias no clasificadas en el tipo “A”. Las construcciones del tipo “B” se subdivide en 2 más: subgrupo “B1” y subgrupo “B2”

Las zonas en que se divide el Distrito Federal lo hacen atendiendo al tipo de suelo que las caracteriza y que están definido es el artículo 170 del reglamento de construcción.

- Zona 1: Se compone de suelos firmes fuera del ambiente lacustre pero que pueden existir depósitos arenosos existiendo oquedades por la explotación de minas de arena.
- Zona 2: principalmente constituida por suelos arenosos y limoarenosos intercalado con capas de arcilla lacustre
- Zona 3: Integrada por arcilla altamente compresible separadas por capas de arena con contenido diverso de arcilla o limo

Sólo cuando la edificación es ligera o mediana, se puede determinar el tipo de suelo atendiendo a la ilustración 7, de lo contrario, se hará necesario realizar estudios de mecánica de suelos para poder diseñar la estructura más conveniente.

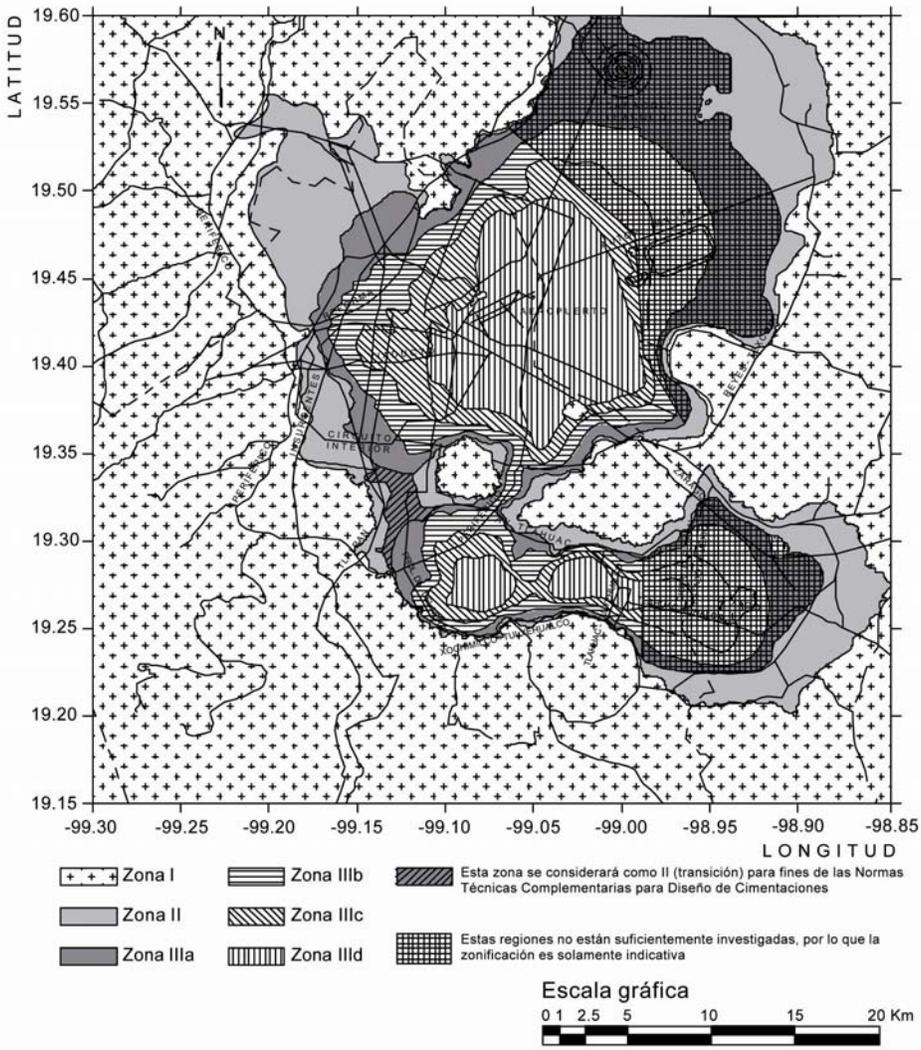


Ilustración 7. Tomada de las normas técnicas complementarias del reglamento de construcción.

En el grupo “B1” se encuentran clasificadas las construcciones con más de 30 m de altura o con un área de 6000 m² construidos y ubicadas en la zona 1 y 2 que se muestra en las normas técnicas complementarias y se pueden apreciar en la ilustración número 7, y construcciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m² de área total construida, en zona III; también los locales con capacidad

de alojar a más de 200 personas, así como anuncios auto soportados, anuncios de azotea, estaciones repetidoras de comunicación celular o inalámbricas.

El subgrupo “B2” se compone de todas las demás edificaciones del grupo “B” que no se encuentran mencionadas en el grupo “B1”.

7. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE LAS PREGUNTAS RECTORAS

Con el fin de responder a las pregunta rectoras:

1.- ¿De qué manera influye el proyecto arquitectónico en las fallas estructurales ocasionadas a causa de los sismos?

2.- ¿De qué forma puede un arquitecto contribuir a evitar dichas fallas estructurales en sus proyectos?

Se procedió a la realización de dos estudios parecidos, pero con enfoques metodológicos diferentes. Uno, basado en la metodología de los grupos de enfoque ampliamente utilizado en investigación cuantitativa y cualitativa y otro, en el método Delphos (Delphi en inglés) que permite buscar, a través de consultar a un grupo reducido de expertos en un tema, prever tendencias, anticipar cambios y producir innovaciones, desarrollado por la RAND CORPORATION a inicios de los años 60

Fue necesaria la utilización de los dos métodos anteriormente mencionados para dar el salto de un estudio exploratorio a uno de tipo correlacional definido por Roberto Hernández Sampieri como el “estudio que tiene como propósito conocer la relación que existe entre dos variables” (Sampieri, Collado, Lucio 2006, p.105)

El primer paso fue desarrollar un instrumento utilizando, para ello, la técnica de los grupos de enfoque en la que se reunió a tres reconocidos calculistas tomando en cuenta el siguiente perfil:

1. Ser arquitectos o ingenieros civiles.
2. Contar con cédula profesional
3. Registro de Corresponsables en Seguridad Estructural de acuerdo al Reglamento de Construcciones del D.F.
4. Llevar más de diez años trabajando de forma continua y reiterada en el diseño y cálculo estructural con el fin de asegurarnos que tuvieran la pericia necesaria en el tema y pudieran ser considerados expertos de acuerdo a Benjamín Bloom (1985, p.18)
5. Estar dispuestos a cooperar

A estos especialistas se les pidió que respondieran afirmativa o negativamente si el proyecto arquitectónico podía influir positiva o negativamente en la prevención de fallas estructurales tras lo cual los tres especialistas afirmaron positivamente.

Posteriormente, se les pidió que anotaran de qué formas puede influir el proyecto arquitectónico en la prevención de fallas estructurales en caso de sismo, auxiliándonos para ello con la técnica de las inconsistencias visuales propuesto por Christopher Jones (Jones 1984, P.187), utilizando fotografías del terremoto de septiembre de 1985

Paso seguido, se les pidió que mencionaran aquellos casos en los que el arquitecto podía haber contribuido con su proyecto a evitar el daño estructural. El Resultado de todas las opiniones se encuentra en el apéndice 4, así como la matriz que posteriormente se utilizó en el método Delfos.

Gracias al método Delfos pudimos hacer que otro grupo de especialistas evaluaran la matriz y nos dieran sus predicciones con respecto a la vulnerabilidad a la que estaría expuesta una obra arquitectónica que no considerara los aspectos

introducidos en la matriz. El resultado final de la misma, después de múltiples análisis con los especialistas participantes, se muestra a continuación.

MATRIZ DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UNA EDIFICACIÓN			
PARÁMETROS	ALTO	MEDIO	BAJO
FORMA			
Regular			X
Sencilla			X
Simétrica			X
No demasiado esbelta		X	
No demasiado alargadas		X	
No contener salientes irregulares			X
No contener cambios bruscos en dimensiones			X
No tener falta de continuidad			X
Muros y columnas adecuadamente distribuidos			X
Longitud de muros similar en su distancia corta y larga		X	
Misma cantidad de muros en cada planta			X
Permitir flujo adecuado y continuo de fuerzas a la cimentación		X	
Al menos el 75% de las cargas verticales deben estar soportados por muros ligados entre sí y ser simétricos con respecto a dos ejes ortogonales			X
La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excederá de 2.0			X
La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excederá de 1.5 y la altura del edificio no será mayor a 13 metros			X
PARÁMETROS	ALTO	MEDIO	BAJO
CONSTRUCTIVO			
Considerar las cargas			X
Castillos a no mas de 3 metros de distancia			X
Al menos una cara de los muros estar aplanada con cemento mortero		X	
fomar anillos en las esquinas para evitar que se habran las paredes		X	
Edificaciones lo mas ligeras posibles		X	
Evitar que muros divisorios, acabados, y accesorios interactuen con la estructura			X
Mantener distancia de las construcciones vecinas			X
Cuidar los elementos con pesos considerables como tinacos y escaleras			X
No perforar elementos estructurales para alojar ductos o instalaciones			X
utilizar tapajuntas en edificios colindantes y entre cuerpos del mismo edificios			
TERRENO			
Construir de preferencia alejado de las fallas			X
Evitar rellenos			X
Evitar tierra vegetal			X
Evitar lugares con potencial de licuefacción			X
Evitas suelo con desechos			X

La matriz arriba ilustrada permitió, además de hacer explícitas las equivocaciones estructurales en las que incurren los arquitectos al proyectar obras arquitectónicas, permitió que otro grupo de especialistas, utilizando el método Delfos, hicieran proyecciones de los daños que sucederían en ciertos escenarios específicos de no observarse, en la etapa de el diseño de las edificaciones, las recomendaciones adquiridas por el grupo de enfoque, se mencionan enseguida.

7.1 EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS ARQUITECTÓNICO-ESTRUCTURALES

7.1.1 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

La evaluación de los sistemas arquitectónicos consiste, en primera instancia, en verificar el cumplimiento de los objetivos planteados, tanto estéticos, funcionales, económicos y, por supuesto, los estáticos; el último corresponde a la evaluación del subsistema estructural en el que se verificará, desde el punto de vista estático, que se cumplan los objetivos de estabilidad, resistencia y deformaciones del sistema tanto en su conjunto como en cada elemento, de acuerdo a la normatividad vigente.

7.1.2. COHERENCIA ENTRE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES Y ARQUITECTÓNICOS

Es necesario verificar la coherencia entre la configuración de los espacios arquitectónicos y la definición de los elementos del sistema estructural en su conjunto, dado que una configuración incoherente con las características de los sistemas estructurales menos vulnerables a las acciones gravitacionales y accidentales puede hacer inviable ciertos sistemas arquitectónicos, o bien, convertirlos en serias amenazas a la vida humana y sus pertenencias.

No sobra insistir en el hecho de que los proyectistas deciden la configuración de los espacios arquitectónicos los cuales la cual puede conducir a una mala o buena solución estructural.

7.1.3 REVISIÓN DE LAS CONDICIONES DE REGULARIDAD DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Es importante revisar en esta etapa las condiciones de regularidad del sistema estructural de entrada. Las condiciones de regularidad de los sistemas estructurales son detalladas en las N.T.C. ¹⁰ del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, elaboradas por las comisiones correspondientes de la SEDUVI (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda) los que tomaron como referencia las experiencias de los sismos más recientes ocurridos en la Ciudad de México y que ocasionaron fallas estructurales.

El que las estructuras sean regulares disminuye considerablemente la probabilidad de riesgo de fallas estructurales; a pesar de esto, es posible admitir irregularidades de acuerdo al reglamento, siempre y cuando éstas sean diseñadas para condiciones más rigurosas lo que, por supuesto, significa un mayor costo de los sistemas estructurales, además de ser más riesgosas en comparación con las estructuras regulares.

7.1.4 DESPLAZAMIENTOS Y DEFORMACIONES DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

Uno de los objetivos más importantes que deben cumplir los sistemas estructurales es que las deformaciones no deben ser mayores a las estipuladas en los reglamentos de construcciones en el D.F. (fallas de servicio), incluyendo el sistema de cimentación, el terreno, el sistema en su conjunto y cada uno de los elementos del sistema.

7.1.5 RESISTENCIA DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

Otro de los objetivos importantes en las estructuras de las edificaciones es el que todos y cada uno de los elementos de los sistemas estructurales, incluyendo las cimentaciones y el terreno, no deben rebasar los límites de

¹⁰ Normas Técnicas de Construcción

resistencia por tensión, compresión, flexión, cortante, torsión y esfuerzos combinados (tenso-flexión compresión-flexión etc.) especificados en los reglamentos.

7.1.6 REVISIÓN DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES ANTE EL FENÓMENO DE LA RESONANCIA BAJO LA ACCIÓN DE FUERZAS ACCIDENTALES

Otro aspecto a considerar en la evaluación de los sistemas estructurales es el fenómeno de la resonancia que se presenta al coincidir el período natural de vibración del terreno (dato proporcionado por el especialista en mecánica de suelos) y el período natural de vibración del sistema estructural, lo que conduce a la amplificación de las deformaciones y los esfuerzos en el sistema estructural hasta hacerlo fallar; un buen principio sería diseñar estructuras de períodos largos (estructuras basadas en marcos rígidos) flexibles en terrenos de periodos cortos y viceversa.

8. PROPUESTA METODOLÓGICA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El objetivo de este método es dotar al arquitecto de una técnica que le sirva durante el proceso de diseño para tener un mayor control sobre las decisiones estructurales, sirviéndose para ello de herramientas computacionales que le permitan realizar una revisión estática de la estructura antes de proponer su diseño definitivo.

Ya que es frecuente que durante el proceso de diseño y desarrollo del proyecto el Arquitecto tenga que posponer las decisiones referentes al sistema estructural en espera de los estudios que realiza su asesor estructural, el uso de los programas de computadora pueden ser un buen asistente para el Arquitecto contribuyendo agilizar el proyecto de la estructura, utilizando métodos refinados de

análisis y diseño, en la mayoría de los casos implementados en los programas de computadora¹¹

Es recomendable que los arquitectos profundicen en el conocimiento de la estabilidad de las estructuras y que se auxilien con la informática, ya que ahora es posible, gracias a los diferentes software especializados, eliminar el trabajo tedioso que implicaba el estar analizando estructuras por procedimientos manuales los cuales, a pesar de usar métodos simplificados, son laboriosos y requieren de invertir demasiado tiempo.

Es oportuno mencionar que el propósito del arquitecto en relación a la estructura es el diseño preliminar (estimación dimensional de las secciones de los elementos estructurales), con esto podrá desarrollar su proyecto arquitectónico, evaluarlo y esperar el cálculo de la estructura y diseño detallado de los elementos elaborado por su especialista en estructuras.

8.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Determinar los elementos estructurales, sus conexiones y sus materiales considerando los objetivos estáticos tales como resistir fuerzas gravitacionales y accidentales (viento o sismo), sin olvidar que los elementos resistentes a sismo básicamente son: muros de cortante de acuerdo a la Norma, y/o marcos rígidos los que pueden ser contra-venteados, así como incluir en el sistema diafragmas horizontales rígidos que transmitan de manera uniforme las fuerzas inerciales a los elementos de rigidez.

8.2 DETERMINACIÓN DE DE LAS CARGAS DE LA ESTRUCTURA

Después de lo anterior, se procederá a analizar las cargas unitarias y totales de la estructura para verificar las condiciones de regularidad de la misma

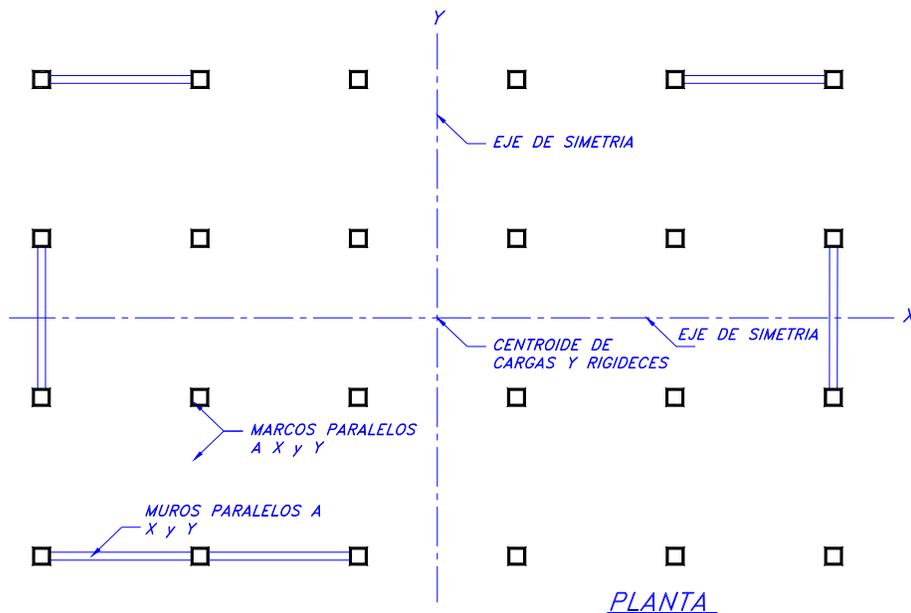
¹¹ Los métodos hasta antes de la aparición de los software de cálculo eran los métodos aproximados y exactos de elaboración manual

(las estructuras regulares en principio son las menos riesgosas a la acción de los sismos cfr. 5.1.3).

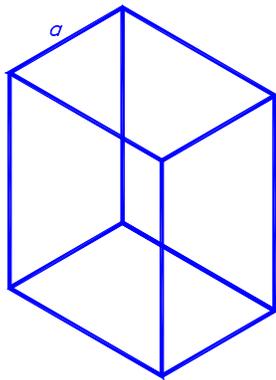
8.3 REVISIÓN DE LAS CONDICIONES DE REGULARIDAD DE LA ESTRUCTURA

Los siguientes once puntos han sido retomados del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal estos definen las condiciones de regularidad de cualquier obra arquitectónica:

- 1) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio. Sobra decir que este requisito está fuertemente vinculado a la organización de los espacios arquitectónicos y es tarea del que proyecta su observación.

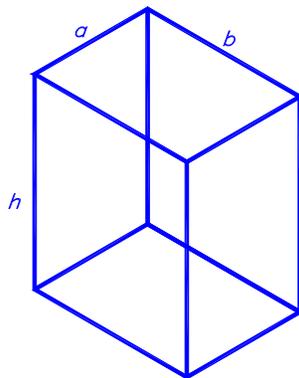


- 2) La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5. Una vez propuesta la estructura en función de la organización de los espacios no es difícil obtener el dato de la altura de la edificación y dividirla entre la mínima dimensión lateral. Para que cumpla con esta condición de regularidad, deberá ser menor a 2.5; esto no nos exime de revisar la estabilidad en general y los esfuerzos que se generen en el terreno debidos al momento de volteo del edificio el que correrá a cargo del especialista.



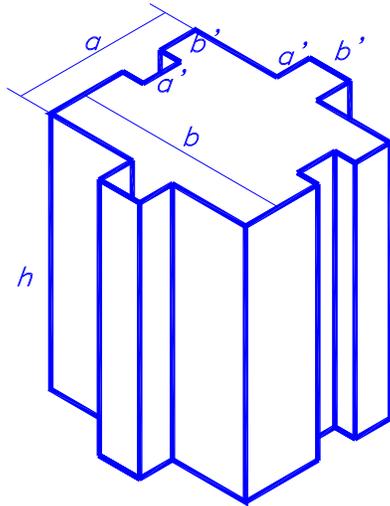
$$h/a \leq 2.5$$

- 3) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5. Una vez propuesta la estructura en función de la organización de los espacios, no es difícil obtener el dato del largo de la base y su anchura y que, al dividirla, deberá ser menor a 2.5



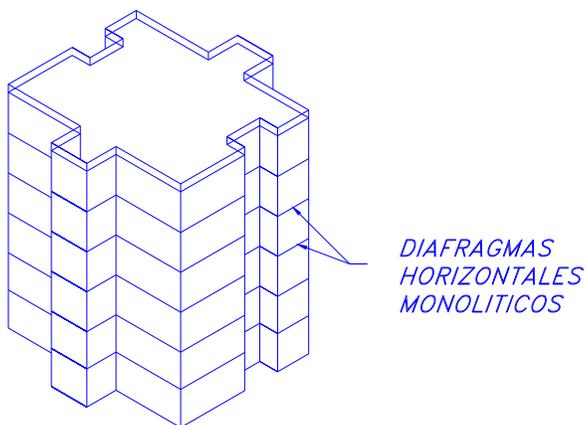
$$b/a \leq 2.5$$

- 4) En Planta no tiene entrantes y salientes cuya dimensión exceda el 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.

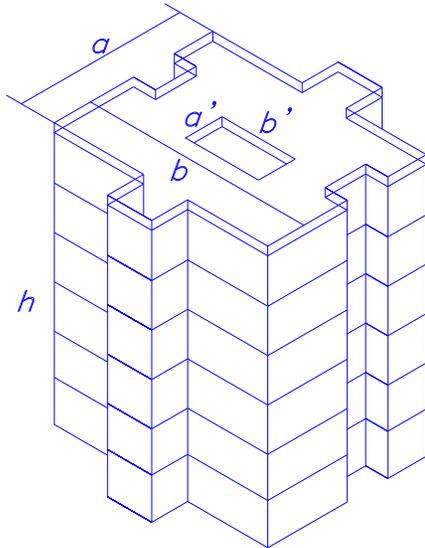


$$a' \leq 20\% \text{ de } a$$
$$b' \leq 20\% \text{ de } b$$

- 5) En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente. Las losas que se utilizan como techos y/o entrepisos desempeñan la función y, de preferencia, deberán tener la característica de ser monolíticas. Si se utilizan elementos pre colados, deberán contar con un elemento que los mantenga unidos y se comporten como elemento monolítico.



- 6) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta, medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área en planta. Estas condiciones se pueden considerar fácilmente en el proyecto.



$$\begin{aligned} a'/a &\leq 20\% \text{ de } a \\ b'/b &\leq 20\% \text{ de } b \\ a' \times b' &\leq 20\% \text{ de } a \times b \end{aligned}$$

- 7) El peso en cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que el 110 del correspondiente al piso inmediatamente inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que el 70 por ciento. En este caso habrá que hacer cálculos de los pesos de cada nivel, sin embargo, si no se intercalan usos diferentes en los entrepisos no llega a ocurrir que se rebasen los límites permitidos.

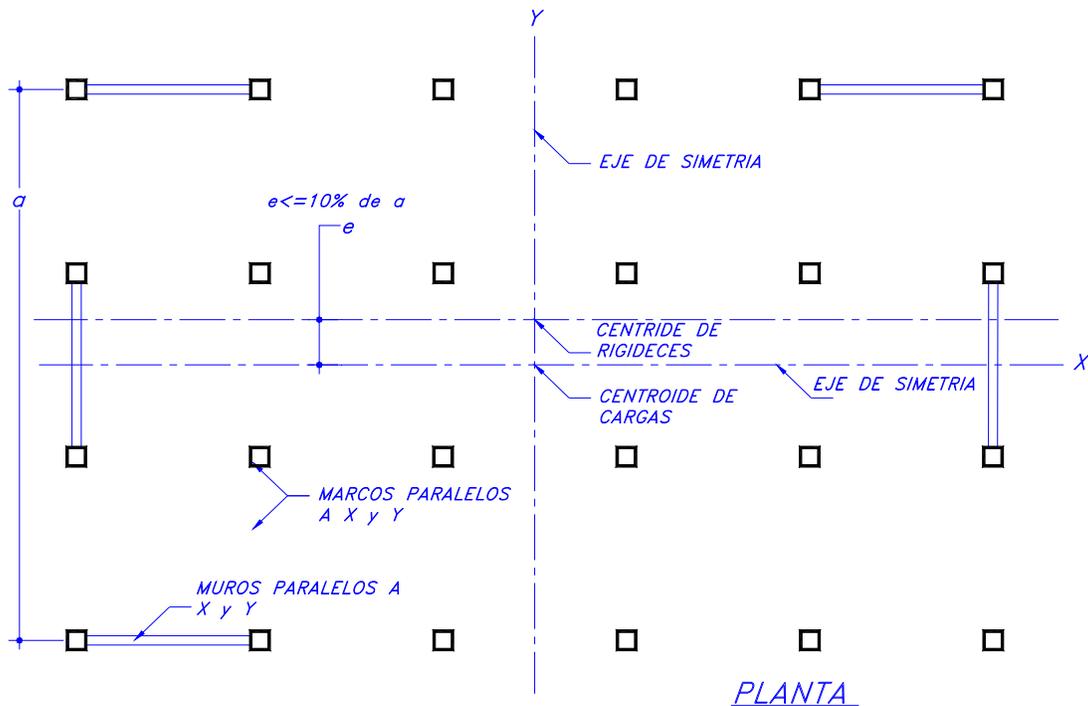
- 8) Ningún piso tiene un área delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exige de este último requisito únicamente el último piso de la construcción. Además, el

área de ningún entre piso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.

9) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.

10) Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más del 50 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito. En la revisión de este punto, es necesario calcular las rigideces de cada marco, de cada marco que contenga muros diafragma, o marcos contra venteados o combinaciones de estos elementos; sin embargo, a simple vista, si no hay interrupciones de muros de un nivel a otro, o cambios bruscos de secciones ni discontinuidades, etc., en estructuras de concreto o metálicas regularmente no habrá cambios bruscos en las rigideces y se cumple fácilmente con el requisito de éste punto.

11) En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, se excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada. En este caso, el cálculo de la excentricidad se realiza a partir de haber calculado la rigidez de los elementos (marcos, muros etc.) y éstos, para facilitar cumplir con el requisito, deberán colocarse simétricamente a un eje en ambas direcciones definidas convenientemente y además hacer coincidir dentro del diez por ciento el centroide de cargas.



De acuerdo al Reglamento y sus Normas Técnicas Complementarias se consideran:

- **Estructura regular**, la que cumplen con todas las condiciones de regularidad mencionadas anteriormente.
- **Estructura irregular**, Toda estructura que no satisfaga uno o más de los requisitos de las condiciones de regularidad mencionadas.
- **Estructura fuertemente irregular**, una estructura considerada fuertemente irregular si se cumple alguna de las condiciones siguientes:

1) La excentricidad torsional calculada estáticamente, es, excede en algún entrepiso de 20 por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

2) La rigidez o la resistencia al corte de algún entrepiso exceden en más de 100 por ciento a la del piso inmediatamente inferior.

- **Corrección por irregularidad**, el factor de reducción Q' , se multiplicará por 0.9 cuando no se cumpla con uno de los requisitos 1 a 11 de la sección 6.1, por 0.8 cuando no se cumpla con dos o más de dichos requisitos, y por 0.7 cuando la estructura sea fuertemente irregular según las condiciones de la sección 6.3. En ningún caso el factor Q' se tomará menor que uno, lo que indica un incremento sustantivo de los coeficientes sísmicos y consecuentemente los cortantes de diseño.

8.4 REVISIÓN DEL PERÍODO NATURAL DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y EL TERRENO

Para evitar que las estructuras entren en resonancia bajo las acciones sísmicas, el período natural de vibración de la estructura no debe coincidir con el período natural del terreno de hecho y, por principio, debemos proyectar estructuras de períodos cortos en terrenos de períodos largos y estructuras de períodos largos en terrenos de períodos cortos.

Las estructuras de períodos cortos son las estructuras de marcos que tienen una cantidad apreciable de muros y/o contravientos, y las de período largos son las estructuras basadas en marcos rígidos sin muros ni contravientos. Así pues, los terrenos de períodos largos en el D.F. son en la zona III mientras que los de períodos cortos son los terrenos de la zona I.

En el Manual de Diseño Sísmico de Edificios de Enrique Bazán Zurita (Bazán y Piralla 1985, P. 158) se proponen fórmulas sencillas para calcular el período fundamental de la estructura la cual deberá compararse con el estudio de mecánica de suelos correspondiente y con los reglamentos vigentes, con la finalidad de asegurarse que tanto los períodos de la estructura como los del

terreno sean lo más diferentes posibles y así evitar que la estructura entre en resonancia.

8.5 REVISIÓN POR FALLAS DE SERVICIO

Para el cálculo de las deformaciones horizontales de los edificios regulares, teniendo el cálculo de las masas en cada nivel y los cortantes sísmicos, éstos se dividen entre la suma de las rigideces de piso de cada marco, en cada nivel y en cada dirección para obtener los desplazamientos de la estructura y compararlos con los especificados como límite en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento. (Cabe mencionar que quizá este cálculo lo realice el asesor estructural).

8.6. REVISIÓN POR FALLAS DE RESISTENCIA

Para verificar que la resistencia de todos y cada uno de los elementos estructurales sea igual o mayor que la resistencia necesaria calculada, es necesario hacer cálculos complejos que realiza, en general, el asesor estructural.

9. CONCLUSIONES

- Tradicionalmente, los arquitectos hemos supuesto que las consideraciones de diseño para el comportamiento sísmico resistente de una edificación son responsabilidad exclusiva de los ingenieros, y que sus consecuencias no deben afectar al diseño arquitectónico, concluyendo equivocada y peligrosamente que los riesgos involucrados no son responsabilidad nuestra.
- Hasta ahora, la única manera de reducir el riesgo de daño estructural en una edificación ante una amenaza sísmica es reduciendo su vulnerabilidad y ésta sólo se puede lograr adecuando lo mejor posible las variables, tanto de diseño estructural, como arquitectónico.

- Proyectar obras arquitectónicas resistentes a cargas gravitacionales y acciones sísmicas.
- Proyectar obras arquitectónicas que representen el menor riesgo posible ante acciones gravitacionales y sísmicas.
- Proyectar obras arquitectónicas con reservas de resistencia a la gravedad y a los sismos.
- Proyectar obras arquitectónicas que respeten como mínimo lo especificado en los reglamentos y sus normas técnicas complementarias.
- La responsabilidad del arquitecto en la prevención no sólo se limita a la parte estructural; también el proyecto debe considerar, entre otras cosas, la separación mínima de las edificaciones a sus colindantes, que los vidrios que se pudieran romper durante un sismo no pongan en riesgo a las personas. Asegurarse que la caída de muros divisorios, cornisas, marquesinas, falsos plafones y unidades de iluminación tampoco pongan en riesgo la integridad de las personas; preferir los materiales no flamables, el proyecto de las instalaciones debe ser planeando desde el principio del proyecto así como las rutas de evacuación, reforzar los lugares que típicamente las personas utilizan para protegerse (paredes de soporte o marcos de puertas con trabes.) Diseñar, junto con el proyecto, las conexiones necesarias para montar candelabros y cosas que pudieran caer sobre los habitantes. Incluir protecciones para los transeúntes que los resguarden de ramas, postes, macetas, vidrios y de cualquier objeto que pueda caer sobre ellos. Crear proyectos que den seguridad contra robos, pero que faciliten una evacuación rápida de las personas en caso de sismo o de incendio.

La intervención de la estructura en el proceso de diseño arquitectónico debe estar presente en:

- **Los croquis preliminares;** organizando, en el espacio que se está creando, los distintos planos o elementos estructurales que aportarán estabilidad (para cargas verticales y laterales) a la forma arquitectónica; de esta manera, el equilibrio se vuelve uno de los generadores del proyecto.
- **Anteproyecto:** El Arquitecto dará proporciones a los elementos estructurales para asegurar la factibilidad del diseño, donde el conocimiento de los distintos mecanismos resistentes es una gran ayuda para poder cumplir exitosamente con dicha tarea.
- **Proyecto definitivo:** Los cálculos y comprobaciones servirán para definir detalles, y ratificar o rechazar las proporciones dadas a las piezas o la viabilidad del sistema propuesto.
- **Observación:** Los arquitectos, después de acumular 5 años de practica profesional, pueden optar por su registro de Director Responsable de Obras, de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Depto. del D.F., convirtiéndose en responsables, incluso, del trabajo del especialista en estructuras, por lo que a mi juicio, deberán ampliar sus conocimientos y práctica estructural para poder revisar el trabajo del especialista.

10. BIBLIOGRAFÍA

10.1. LIBROS

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

Martinell, C. (1986) Gaudi. Barcelona, edit. Punto fijo.

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

Baker, G. (1996) Le Corbusier. Análisis de la forma. Barcelona, edit. Gustavo Gili.

Sampieri Hernández, R. (2008) Metodología de la investigación Cuarta edición. México, edit. Compañía Editorial Ultra.

Barbat, A.H (1998) El riesgo sísmico en el diseño de edificios. Calidad Siderúrgica, S.R.L

Jones, C. . A Method of Systematic Design. In; Cross, N., *Developments in Design Methodology*. London, John Wiley y Son, 1984.

Bloom, Benjamin. 1985. *“Developing Talent in Young People”*.__New York: Ballantine.

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

Bazán Z, E. (1985) Manual de diseño sísmico de edificios. México, edit. Limusa

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y National Research Council (1986) Investigación para aprender de los sismos de septiembre 1985 en México.

10.2. PUBLICACIONES

Díaz, J.,(2006) “Los suelos lacustres de la ciudad de México” en *Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol 6 número 2, pp.111-129

Lo, K.Y. (1962). “Shear strength properties of a sample of volcanic material of the valley of Mexico” *Géotechnique*, Vol. 12, No. 4, pp. 303-318.

Díaz-Rodríguez, J. A., Lozano-Santa Cruz, R., Dávila-Alcocer, V.M., Vallejo, E. y Girón, P. (1998). “Physical, chemical, and mineralogical properties of Mexico City: a geotechnical perspective”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, No. 4, pp. 600-610.

Zeevaert, L. (1957b). “Compensated friction-pile foundation to reduce the settlement of buildings on the highly compressible volcanic clay of Mexico City”. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics, London, U.K., Vol. 2, pp. 81-86.

Mooser, F. (1963). “La cuenca lacustre del Valle de México”. Mesas Redondas sobre Problemas del Valle de México, Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. México.

Argüello,M. (2006) Gestión de la vivienda en riesgo: de la emergencia a la reconstrucción *instituto de arquitectura tropical*

S.K. Singh y G.Suárez, "Review of the Seismicity of Mexico with Emphasis on the September 1985, Michoacan Earthquakes", Instituto de geofísica, UNAM, 1986.

Sena (2007) “Construcción de casas sismo resistentes de uno y dos pisos”recuperado de internet.

CENAPRED (2001a) Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Atlas nacional de riesgos de la república mexicana, *Centro Nacional de Prevención de Desastres*, México.

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

10.3. TESIS

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

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

10.4. PÁGINAS WEB

<http://sismologia.cicese.mx/resnom/principal/FAQ.php>

<http://www.lorenzoservidor.com.ar/>

<http://www.cenapred.unam.mx/es/>

http://www.cires.org.mx/cires_es.php

<http://www.ssn.unam.mx/>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto de M%C3%A9xico de 1985](http://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_M%C3%A9xico_de_1985)

<http://libraryphoto.cr.usgs.gov/>

http://aiestructurales.com/~aieestruc/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=43&Itemid=49

<http://www.jornada.unam.mx/2005/09/11/mas-jesus.html>

http://libraryphoto.cr.usgs.gov/cgi-bin/search.cgi?search_mode=exact&selection=Mexico+City+Earthquake+1985%7CMexico+City%7CEarthquake%7C1985

<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/index>

<http://www.obras.df.gob.mx/normatividad/index.html>

<http://www.desenredando.org/public/libros/1996/dma/html/7cap2.htm>

<http://www.proteccioncivil.gob.mx/Portal/PtMain.php?nIdHeader=2&nIdPanel=50&nIdFooter=22>

<http://atl.cenapred.unam.mx/metadataexplorer/index.html>

<http://nzdl.sadl.uleth.ca/cgi-bin/library?a=p&p=home&l=en&w=utf-8>

10.5. REGLAMENTOS

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

ANEXOS

ANEXO 1

UNAM

EL SISMO DE 1985 EN CIFRAS

El 19 de Septiembre, a las 7:19 a.m, ocurrió un sismo cuyo epicentro tuvo lugar en las costas de Michoacán. La magnitud del evento fue de 8.1 grados, afectando gran parte de la Ciudad de México.

Las cifras que a continuación se presentan son un recuento de la estela de desolación y muerte que dejó a su paso.

GENERALIDADES

Energía liberada por el sismo: Equivalente a 1,114 bombas atómicas de 20 kilotones c/u.

Número de muertos: Alrededor de 40,000

Rescatados con vida de los Escombros: Alrededor de 4,000

INFRAESTRUCTURA URBANA

Drenaje afectado: 6,500 metros

Carpeta asfáltica dañada: 516,000 m²

Viviendas con daños: 68,000

Viviendas destruidas: 30,000

Usuarios sin servicio eléctrico: 1,200,000

Edificios Colapsados: 400

COMUNICACIONES

Telegramas y Télex enviados las primeras semanas: 685,466

Comunicados por Radio y Televisión: 39,625

Llamadas a LOCATEL: 168,000

TRANSPORTES

Líneas afectadas del metro: 32

Empleos perdidos por el sismo: 200,000

Y LA VIDA SIGUE ...

1985

2007

Más información <http://www.ssn.unam.mx>

ELABORADO POR: ING. AIDA QUEZADA REYES

ANEXOS 2

FECHA	MAGNITUD	REGIÓN	DAÑOS
1911, junio 7	7.6	Costa Guerrero-Michoacán	45 muertos en el Distrito Federal, derrumbó el cuartel de San Cosme, el altar de la iglesia de San Pablo y tiró muros en varias partes de la ciudad. Flexionó rieles de tranvía y produjo grietas en las calles. Destruyó 119 casas
1912, noviembre 19	7.0	Acambay, Estado de México	Daños serios en el Estado de México y en el Distrito Federal. Derrumbes de muchas bardas y varias casas destruidas. Grietas en las calles y roturas en tuberías de agua y cableado. Daños en los templos de San Sebastián, La Palma y La Profesa. Daños en el Palacio de Minería, Las Vizcaínas y el Teatro Principal, entre otros.

1932, junio 3	8.2	Costa Jalisco-Colima	Grandes daños en poblaciones de los Estados de Colima y el occidente de Jalisco. La ciudad de Colima fue la mas dañada. En la ciudad de México derrumbó varias casas y bardas.
1937, julio 25	7.3	Veracruz-Oaxaca	Daños severos en Esperanza, Puebla.
1957, julio 28	7.8	Guerrero: San Marcos	55 muertos, miles de heridos y daños materiales en varios Estados. La población mas dañada fue San Marcos, Guerrero. En la ciudad de México destruyó varias casas y edificios, derribó el "Ángel de la Independencia" y levantó el pavimento en varios sitios.
1968, agosto 2	7.3	Oaxaca: Pinotepa	Se estima que hubo varios muertos y miles de heridos. Grandes daños materiales en Pinotepa.
1973, enero 30	7.6	Costa Michoacán	50 muertos, 300 heridos y 30 poblaciones afectadas severamente

1973, agosto 28	7.3	Veracruz-Oaxaca	600 muertos, miles de heridos y damnificados. Ciudad Serdán destruida, daños considerables en las ciudades de Puebla, Orizaba, Oaxaca y México. 77 poblados dañados seriamente.
1978, noviembre 29	7.6	Oaxaca: Miahuatlán	Daños en Loxicha, Oaxaca. Es quizá el temblor que más se ha estudiado en México.
1979, marzo 3	7.4	Costa de Guerrero	Daños serios en poblados de Guerrero. Se le conoce como "sismo de la Ibero" porque tiró la universidad de ese nombre en la Ciudad de México
1980, octubre 24	7.1	Puebla-Morelos	50 muertos, fuertes daños en la región fronteriza de los estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero, principalmente en Huajuapán de León, Oaxaca.
1985, septiembre 19	8.1	Costa Michoacán	Más de 6,500 muertos, grandes daños en la región oeste de México,

			<p>principalmente en los Estados de: Michoacán, Colima y Jalisco; Ciudad Guzmán fue la mas dañada de esta región. En la Ciudad de México gran destrucción en el centro y en las colonias Doctores, Guerrero, Tepito, Morelos, Roma, Juárez, Merced y Tlatelolco, entre otras. Destruyó casi 2,000 edificios, levantó el pavimento y rompió las redes de tuberías en varias partes de la ciudad.</p>
1995, octubre 9	8.0	Costa Colima	<p>Varios muertos y cientos de damnificados, fuertes daños en la región, se derrumbaron algunos edificios, principalmente en las ciudades de Manzanillo y Colima, Colima. Provocó crisis nerviosa a los habitantes de la Ciudad de México.</p>

10. Tabla 1 Fuente: Sistema de Alerta Sísmica (SAS)

ANEXO 3

Cuestionario aplicado para la medición de la intensidad de un sismo de acuerdo a la escala de Mercalli.

(<http://www.rsn.geologia.ucr.ac.cr/09%20%DAltimo%20sismo%20sentido/Mercalli%20Modificada.htm> 15/09/08)

Grado	Descripción
I	No es sentido
II	Sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores; objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlo como temblor; vibración similar a la producida por el paso de un vehículo liviano, objetos suspendidos oscilan.
IV	Objetos suspendidos oscilan visiblemente; vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado; vehículos estacionados se bambolean; cristalería y vidrios suenan; puertas y paredes de madera crujen.
V	Sentido aún en el interior de los edificios; permite estimar la dirección de las ondas; personas dormidas se despiertan; el contenido líquido de recipientes y tanques es perturbado y se puede derramar; objetos inestables son desplazados; las puertas giran y se abren o cierran; relojes de péndulo se paran.
VI	Sentido por todas las personas; muchos sufren pánico y corren hacia el exterior; se tiene dificultad en caminar establemente; vidrios y vajilla se quiebran; vidrios y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes; los muebles son desplazados o volcados; el revoque y enlucido de mortero de baja calidad y mampostería tipo D se fisuran; las campanas pequeñas tañen
VII	Se tiene dificultad en mantenerse parado; percibido por los conductores de vehículos en marcha; muebles se rompe; daños y colapso de mampostería tipo D; algunas grietas en mampostería tipo; las chimeneas se fracturan a nivel del techo, caída de revoque de mortero, las tejas cornisas y parapetos sin anclajes, algunas grietas en mampostería de calidad media, campanas grandes tañen, ondas en embalses y depósitos de agua.

VIII	La conducción de vehículos se dificulta; daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C, algún daño a mampostería tipo B; ningún daño a mampostería tipo A, caída de revoque de mortero y algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio en el flujo o temperatura de pozos de agua, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.
IX	Pánico general, construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas, daño severo y aún colapso de mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería tipo B, daños a fundaciones, daños y colapso de estructuras aporticadas; daños de embalses y depósitos de agua, ruptura de tubería enterrada, grietas significativas visibles en el terreno.
X	La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidas; algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebalsa en los bordes de los ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.
XI	Rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas.
XII	Destrucción total; grandes masas de roca son desplazadas; las líneas de visión óptica son distorsionadas; objetos lanzados al aire.

Definición de tipos de Mampostería

Tipo	Descripción
A	Buena calidad de ejecución, mortero y diseño; reforzada y confinada empleando varillas de acero, diseñada para resistir cargas laterales de sismo.
B	Buena calidad de ejecución, reforzada, pero no diseñada específicamente para resistir cargas laterales de sismo.
C	Calidad de ejecución media, sin refuerzo y no diseñada para resistir cargas laterales.
D	Materiales de baja resistencia, tal como adobe, baja calidad de ejecución, débil para resistir cargas laterales.

ANEXO 4

- El periodo de vibración del sistema estructural el cual no debe coincidir con el de la estructura para evitar el fenómeno de la resonancia, de Las condiciones de regularidad de las estructuras según los reglamentos, reglamentos, las zonas sísmicas, las zonas de huracanes, la estabilidad de laderas, las condiciones del suelo Etc.
- Tener en cuenta las cargas dinámicas como puede ser la cantidad de gente arremolinándose entorno a las salidas durante un sismo.
- Preferir proyectos con formas regulares y sencillas (ya que de otro modo se giran y tuercen generando esfuerzos que pueden ser peligrosos) en cada uno de los niveles que la componen(por que)
- No hacer proyectos ni muy esbeltos ni muy alargados(por que)
- El proyecto no debe tener salientes irregulares, no deben contener cambios bruscos en sus dimensiones ni falta de continuidad. (que es irregular, porque, a que se refiere con irregularidad)
- Cuidar la distribución de los muros y las columnas evitando que esten concentrados en un lado y separados en el otro
- En cada piso la longitud total de los muros en la dimención corta debe ser muy similar a la longitud total del los muros en la dirección larga.
- Evitar poner menor cantidad de muros en el entrepiso o en la planta baja(que pasa con estacionamientos y locales comerciales)
- Poner en los muros de tabique tres cadenas (la de desplante, la de cerramiento y una intermedia.
- Consdiderar los castillos a no mas de tres metros de distancia.
- Reforzar las puertas y ventanas con cadenas y castillos
- Almenos una cara de los muros debe estar aplanada con una mezcla de cemento mortero(aumenta en 30% resistencia)

- En las construcciones de adobe los muros y las esquinas deben estar reforzados con vigas de madera o concreto reforzado que forme un anillo y que evite que se abran las paredes
- Las edificaciones deben ser lo mas ligeras posibles
- Los muros divisorios, acabados,y accesorios deben estar bien fijos evitando que interactuen con la estructura ni se desprendan durante los sismos.
- No estar en contacto con construcciones vecinas
- No debe apreciarse en los muros ni en los castillos falta de verticalidad ni fisuras diagonales o verticales ni hundimientos ni inmerciones en los pisos
- Construir alejado de las fallas, evitar rellenos, y lugares con posibles asentamientos y alto potencial de licuefacción. Favorecer las indicaciones dadas por las autoridades de protección civil
- Respetar el reglamento de construcción(que artículos)
 - ARTÍCULO 140.- El proyecto de las edificaciones debe considerar una estructuración eficiente para resistir las acciones que puedan afectar la estructura, con especial atención a los efectos sísmicos. El proyecto, de preferencia, considerará una estructuración regular que cumpla con los requisitos que establecen las Normas. Las edificaciones que no cumplan con los requisitos de regularidad se diseñarán para condiciones sísmicas más severas, en la forma que se especifique en las Normas.
 - ARTÍCULO 143.- Los elementos no estructurales que puedan restringir las deformaciones de la estructura, o que tengan un peso considerable, muros divisorios, de colindancia y de fachada, pretilas y otros elementos rígidos en fachadas, escaleras y equipos pesados, tanques, tinacos y casetas, deben ser aprobados en sus características y en su forma de sustentación por el Director

Responsable de Obra y por el Corresponsable en Seguridad Estructural en obras en que éste sea requerido.

- ARTÍCULO 145.- Cualquier perforación o alteración de un elemento estructural para alojar ductos o instalaciones deberá ser aprobada

por el Director Responsable de Obra o por el Corresponsable en Seguridad Estructural, en su caso.

Las instalaciones, particularmente las de gas, agua y drenaje que crucen juntas constructivas estarán provistas de conexiones flexibles o de tramos flexibles.

- ARTÍCULO 146: “Toda edificación debe contar con un sistema estructural que permita el flujo adecuado de las fuerzas que generan las distintas acciones de diseño, para que dichas fuerzas puedan ser transmitidas de manera continua y eficiente hasta la cimentación. Debe contar además con una cimentación que garantice la correcta transmisión de dichas fuerzas al subsuelo” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.146)

- ARTÍCULO 147 “Toda estructura y cada una de sus partes deben diseñarse para cumplir con los requisitos básicos siguientes: I. Tener seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada, y II. No rebasar ningún estado límite de servicio ante combinaciones de acciones que corresponden a condiciones normales de operación” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.147)

- ARTÍCULO 150 “En el diseño de toda estructura deben tomarse en cuenta los efectos de las cargas muertas, de las cargas vivas, del sismo y del viento, cuando este último sea significativo. Las intensidades de estas acciones que deban considerarse en el

diseño y la forma en que deben calcularse sus efectos se especifican en las Normas correspondientes” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.150)

- ARTÍCULO 153 “La seguridad de una estructura debe verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente, considerándose dos categorías de combinaciones que se describen en las Normas” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.153)
- ARTÍCULO 165 “Las estructuras se analizarán bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno. En el caso de estructuras que no cumplan con las condiciones de regularidad, deben analizarse mediante modelos tridimensionales, como lo especifican las Normas”(Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.165)
- ARTÍCULO 166 “Toda edificación debe separarse de sus linderos con los predios vecinos o entre cuerpos en el mismo predio según se indica en las Normas. En el caso de una nueva edificación en que las colindancias adyacentes no cumplan con lo estipulado en el párrafo anterior, la nueva edificación debe cumplir con las restricciones de separación entre colindancias como se indica en las Normas. Los espacios entre edificaciones colindantes y entre cuerpos de un mismo edificio deben quedar libres de todo material, debiendo usar tapajuntas entre ellos” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.166)
- ARTÍCULO 169 “Toda edificación se soportará por medio de una cimentación que cumpla con los requisitos relativos al diseño y construcción que se establecen en las Normas. Las edificaciones no podrán en ningún caso desplantarse sobre tierra vegetal,

suelos o rellenos sueltos o desechos. Sólo será aceptable cimentar sobre terreno natural firme o rellenos artificiales que no incluyan materiales degradables y hayan sido adecuadamente compactados” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.169)

- ARTÍCULO 172 “Deben investigarse el tipo y las condiciones de cimentación de las edificaciones colindantes en materia de estabilidad, hundimientos, emersiones, agrietamientos del suelo y desplomos, y tomarse en cuenta en el diseño y construcción de la cimentación en proyecto. Asimismo, se investigarán la localización y las características de las obras subterráneas cercanas, existentes o proyectadas, pertenecientes a la Red de Transporte Colectivo, de drenaje y de otros servicios públicos, con objeto de verificar que la edificación no cause daños a tales instalaciones ni sea afectada por ellas” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.172)
- ARTÍCULO 176 “En las edificaciones del Grupo A y Subgrupo B1 a que se refiere el artículo 139 de este Reglamento, deben hacerse nivelaciones durante la edificación y hasta que los movimientos diferidos se estabilicen, a fin de observar el comportamiento de las excavaciones y cimentaciones y prevenir daños a la propia edificación, a las edificaciones vecinas y a los servicios públicos. Será obligación del propietario o poseedor de la edificación, proporcionar copia de los resultados de estas mediciones, así como los planos, memorias de cálculo y otros documentos sobre el diseño de la cimentación a los diseñadores de edificios que se construyan en predios contiguos” (Reglamento de Construcción Para el Distrito Federal 2004 art.176)
- ARTÍCULO 184 Las modificaciones de edificaciones existentes, que impliquen una alteración en su funcionamiento estructural,

serán objeto de un proyecto estructural que garantice que tanto la zona modificada como la estructura en su conjunto y su cimentación cumplan con los requisitos de seguridad de este Reglamento. El proyecto debe incluir los apuntalamientos, rigidizaciones y demás precauciones que se necesiten durante la ejecución de las modificaciones.

Normas técnicas complementarias

1.- Los muros que contribuyan a resistir fuerzas laterales se ligarán adecuadamente a los marcos estructurales o a castillos y dadas en todo el perímetro del muro; su rigidez se tomará en cuenta en el análisis sísmico y se verificará su resistencia de acuerdo con las Normas correspondientes. Los castillos y dadas de estos muros, a su vez estarán ligados a los marcos. Se verificará que las vigas o losas y columnas resistan la fuerza cortante, el momento flexionante, las fuerzas axiales y, en su caso, las torsiones que induzcan los muros en ellas. Se verificará, asimismo, que las uniones entre elementos estructurales resistan dichas acciones.

2.- Cuando los muros no contribuyan a resistir fuerzas laterales, se sujetarán a la estructura de manera que no restrinjan la deformación de ésta en el plano del muro, pero a la vez que se impida el volteo de estos muros en dirección normal a su plano. Preferentemente estos muros serán de materiales flexibles.

3.- Se verificará que tanto la estructura como su cimentación resistan los momentos flexionantes, fuerzas cortantes y axiales, momentos torsionantes de entrepiso y momentos de volteo inducidos por sismo, combinados con los que correspondan a otras solicitaciones y afectados del factor de carga correspondiente, según las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones

4.- Toda edificación deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia no menor de 50 mm, ni menor que el desplazamiento horizontal

calculado para el nivel de que se trate, aumentado en 0.001, 0.003 ó 0.006 veces la altura de dicho nivel sobre el terreno, en las zonas I, II ó III, respectivamente. En este caso deben incluirse los desplazamientos debidos a la flexión de conjunto de la estructura y al giro de su base, en caso de que sean significativos.

5.- Cuando la estructura se aíse sísmicamente en su base, o se adopten dispositivos especiales capaces de disipar energía por amortiguamiento o comportamiento inelástico, podrán emplearse criterios de diseño sísmico que difieran de los aquí especificados, pero congruentes con ellos, si se demuestran, a satisfacción de la Administración, tanto la eficacia de los dispositivos o soluciones estructurales, como la validez de los valores del amortiguamiento y del factor de comportamiento sísmico que se propongan.

6.- En cada planta, al menos el 75 por ciento de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte. Dichos muros tendrán distribución sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales y deberán satisfacer las condiciones que establecen las Normas correspondientes. Para que la distribución de muros pueda considerarse sensiblemente simétrica, deberá cumplir en dos direcciones ortogonales, que la excentricidad torsional calculada estáticamente, es, no exceda del diez por ciento de la dimensión en planta del edificio medida paralelamente a dicha excentricidad, b. La excentricidad torsional es podrá estimarse como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muros, con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área total de los muros orientados en la dirección de análisis.

7.- La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excederá de 2.0, a menos que para fines de análisis sísmico se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación entre longitud y ancho satisfaga esta restricción y las que se fijan en el inciso anterior, y cada tramo resista según el criterio que marca el Capítulo 7.

8.- La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excederá de 1.5 y la altura del edificio no será mayor de 13 m.

9.- Puede utilizarse el método estático del Capítulo 8 para analizar estructuras regulares, según se define en el Capítulo 6, de altura no mayor de 30 m, y estructuras irregulares de no más de 20 m. Para edificios ubicados en la zona I, los límites anteriores se amplían a 40m y 30m, respectivamente. Con las mismas limitaciones relativas al uso del análisis estático, para estructuras ubicadas en las zonas II ó III también será admisible emplear los métodos de análisis que especifica el Apéndice A, en los cuales se tienen en cuenta los periodos dominantes del terreno en el sitio de interés y la interacción suelo-estructura.

10.- La resistencia en todos los entrepisos es suministrada exclusivamente por marcos no contraventados de acero, concreto reforzado o compuestos de los dos materiales, o bien por marcos contraventados o con muros de concreto reforzado o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, en los que en cada entrepiso los marcos son capaces de resistir, sin contar muros ni contravientos, cuando menos 50 por ciento de la fuerza sísmica actuante.

11.- Si hay muros de mampostería ligados a la estructura en la forma especificada en la sección 1.3.1, éstos se deben considerar en el análisis, pero su contribución a la resistencia ante fuerzas laterales sólo se tomará en cuenta si son de piezas macizas, y los marcos, sean o no contraventados, y los muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de los dos materiales, son capaces de resistir al menos 80 por ciento de las fuerzas laterales totales sin la contribución de los muros de mampostería.

12.- El mínimo cociente de la capacidad resistente de un entrepiso entre la acción de diseño no difiere en más de 35 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos. Para verificar el cumplimiento de este requisito, se calculará la capacidad resistente de cada entrepiso teniendo en cuenta todos los elementos que puedan contribuir a la resistencia, en particular los muros que se

hallen en el caso de la sección 1.3.1. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

13.- condiciones de regularidad. Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.