

SISMO, EDIFICIOS DAÑADOS, Y RECOMENDACIONES

Arq. Cesar J. Carpio Utrilla
Profesores de la Universidad Autónoma Metropolitana
Ciencias y Artes para el Diseño
México, D.F., México
Administración y Tecnología para el Diseño
Departamento de Procesos y Técnicas de Realizaciones
cjcu@correo.azc.uam.mx

Introducción

Un movimiento sísmico es un movimiento vibratorio producido por la pérdida de estabilidad de masas de la corteza terrestre. Cuando el movimiento llega a la superficie y se propaga por ésta le llamamos terremoto (sismo). Ésta pérdida de estabilidad se asocia generalmente a los límites de las placas tectónicas. El fenómeno sísmico es similar al hecho de arrojar un objeto a un estanque de agua. En ese caso, la energía liberada por el choque de dicho objeto con la superficie del agua se manifiesta como un frente de ondas, de forma circular, que se aleja en forma concéntrica del punto donde cayó el objeto.

Durante el sismo el suelo se mueve de forma oscilatoria, tanto en sentido horizontal como vertical. El movimiento del suelo se desarrolla de forma más o menos aleatoria, especialmente en el epicentro (área central del sismo). La energía sísmica es transmitida por el suelo a la construcción que le es solidaria, y esta reacción por inercia, determina frente a los movimientos sísmicos deformaciones, u otra forma de trabajo interno que disipa la energía recibida.

Si la capacidad de disipación de energía de la estructura no es suficiente, posiblemente se producirán importantes daños en extensas áreas del edificio, por deformación excesiva, agrietamientos o colapso. Si en forma similar a las ondas en el agua las ondas sísmicas se alejan del foco propagándose por el interior de la tierra, éstas, generarán vibraciones en la superficie de la misma, tal y como sucedió durante el sismo del 19 de septiembre de 1985, cuyo epicentro se ubicó en la costa de Michoacán y fue sentido a distancias de hasta 1 000 km del epicentro.

El movimiento sísmico se propaga concéntricamente y de forma tridimensional a partir de un punto en la corteza profunda o manto superficial (en general, en la Litosfera), en el que se pierde el equilibrio de masas. A este punto se le denomina hipocentro. Cuando las ondas procedentes del hipocentro llegan a la superficie terrestre se convierten en bidimensionales y se propagan en forma concéntrica a partir del primer punto de contacto con ella. Este punto llama epicentro, según nos alejamos del hipocentro se produce la atenuación de la onda sísmica.

Las ondas sísmicas son similares a las ondas sonoras y, según sus características de propagación, las clasificamos en:

- Ondas "p" o primarias: llamadas así por ser las más rápidas, y por tanto, las primeras que se registran en los sismógrafos. Son ondas de tipo longitudinal, es decir, las partículas rocosas vibran en la dirección de avance de la onda. Se producen a partir del hipocentro y se propagan por medios sólidos y líquidos en las tres direcciones del espacio.
- Ondas "s" o secundarias: algo más lentas, son ondas de tipo transversal, es decir, la vibración de las partículas es perpendicular al avance de la onda. También se producen a partir del hipocentro y se propagan en forma tridimensional, pero únicamente a través de medios sólidos.
- Ondas "L" o largas: se propagan sólo por la superficie, por lo que también se les llama ondas superficiales, se propagan a partir del epicentro. Éstas son las que generan fuerzas importantes que interactúan con las estructuras durante los terremotos

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS

Velocidad de las ondas "p"

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Velocidad de las ondas "s"

K = Módulo de compresibilidad

ρ = Densidad

μ = Rigidez

En ambos casos la densidad está en el denominador y la rigidez en el numerador, (son "inversamente proporcionales" a la densidad y "directamente proporcionales"

a la rigidez), esto quiere decir que cuanto más densa es la materia que atraviesan, tanto más lentas son, mientras que, cuanto más rígidas tanto más rápidas.

TIPOS DE SISMOS

Microsismos: pequeñas vibraciones en la corteza terrestre provocadas por causas diversas. Entre las más frecuentes se encuentran grandes tormentas, hundimiento de cavernas, desplomes de rocas, etc.

Sismos volcánicos: a veces los fenómenos volcánicos pueden generar movimientos sísmicos. Tal es el caso del hundimiento de calderas volcánicas, destape de las chimeneas en una erupción u otras.

Los sismos de tipo tectónico: son los verdaderos movimientos sísmicos y los de mayor intensidad. Generalmente asociados a fracturas (fallas), se producen por formación de fallas, movilización de fallas preexistentes o por movimiento de fallas asociadas.

La intensidad del terremoto se refiere a la magnitud del movimiento sísmico y, por tanto, está en relación con la energía liberada por la Tierra en dicho movimiento. Las ondas sísmicas se registran en sismógrafos, en ellos quedan registradas las ondas correspondientes a los tres tipos. Las líneas que describen estas ondas y su medición nos aportan información sobre la intensidad del terremoto

Las dos escalas sísmicas son la de Mercalli y la de Richter. Aunque la primera ha sido muy utilizada, en la actualidad va perdiendo importancia en favor de la segunda.

ESCALA DE RICHTER – INTENSIDAD-

Descripción:

I. Muy débil. Lo advierten pocas personas y en condiciones de percepción especialmente favorables (reposo, silencio total, en estado de mayor concentración mental, etc.)

II. Débil. Lo perciben sólo algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios.

III. Leve. Se percibe en el interior de los edificios y casas. No siempre se distingue claramente que su naturaleza es sísmica, ya que se parece al paso de un vehículo liviano.

IV. Moderado. Los objetos colgantes oscilan visiblemente. Es sentido por todos en el interior de los edificios y casas. La sensación percibida es semejante al paso de un vehículo pesado. En el exterior es poco perceptible.

V. Poco Fuerte. Sentido por casi todos, aún en el exterior. Durante la noche muchas personas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden derramarse. Los objetos inestables se mueven o se vuelcan.

VI. Fuerte. Lo perciben todas las personas, se siente inseguridad para caminar. Se quiebran vidrios de algunas ventanas, vajillas y objetos frágiles, los muebles se desplazan y se vuelcan. Se producen grietas en algunos aplanados. Se hace visible el movimiento de árboles y arbustos.

VII. Muy fuerte. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie, se percibe en automóviles en marcha. Causa daños en vehículos y estructuras de albañilería mal construidas, caen trozos de aplanado, ladrillos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos.

VIII. Destructivo. Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y a veces derrumbe parcial de estructuras de albañilería bien construidas. Caen chimeneas, monumentos, columnas, torres y estanques, las casas de madera se desplazan y se salen totalmente de las bases.

IX. Ruinoso. Se produce inquietud general, las estructuras corrientes de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban totalmente, las estructuras de madera son removidas de sus cimientos, se pueden fracturar las cañerías y ductos subterráneos.

X. Desastroso. Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. Algunas estructuras de madera bien construidas, incluso puentes, se destruyen. Se producen grandes daños en represas, diques y malecones. Los rieles de ferrocarril se deforman leve o fuertemente.

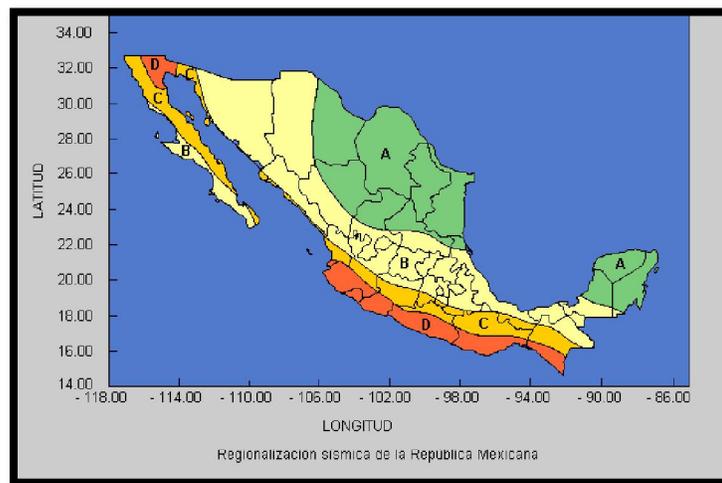
XI. Muy desastroso. Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles del ferrocarril quedan fuertemente deformados. Las cañerías y ductos quedan totalmente fuera de servicio.

XII. Catastrófico. El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de rocas. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perfiles de las construcciones quedan distorsionados.

LOCALIZACIÓN Y MAGNITUD

La determinación del epicentro del terremoto requiere de la triangulación de los datos de tres estaciones sísmicas que lo hayan registrado. La determinación de la magnitud o escala Richter se realiza combinando la amplitud de la onda medida en el sismograma y la distancia al epicentro de la estación que registra el terremoto.

ZONAS SÍSMICAS DE LA REPÚBLICA

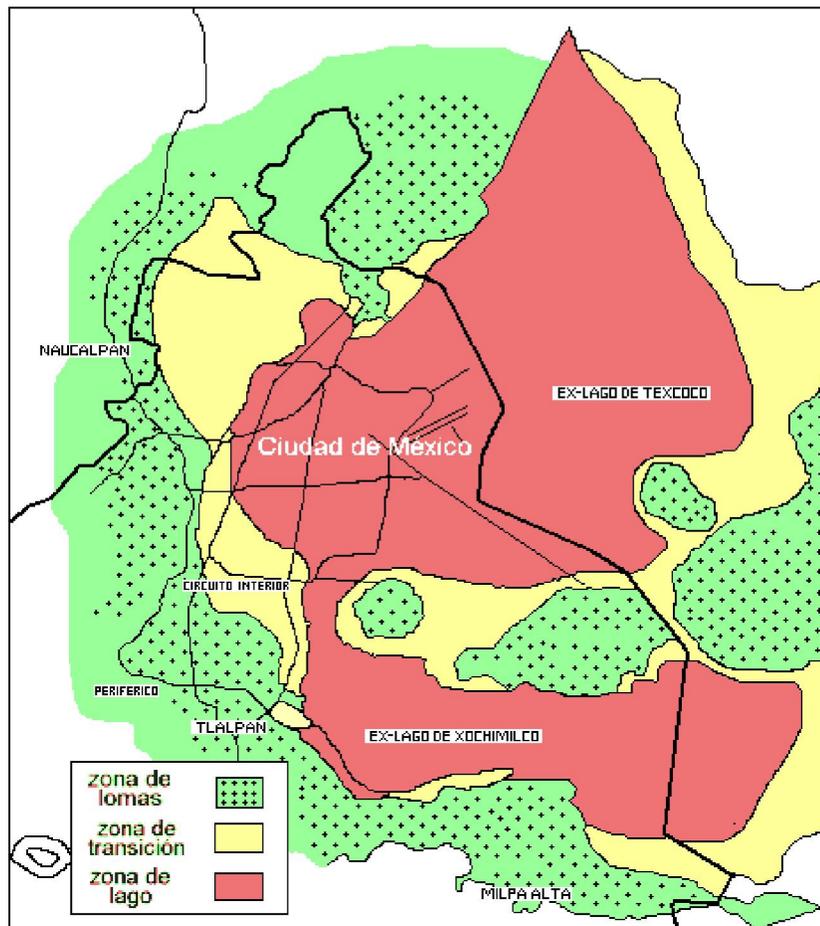


La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores. La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones.

ZONAS SÍSMICAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La zona I, firme o de lomas, (verde) localizada en las partes más altas de la cuenca del valle, está formada por suelos de alta consistencia y poco compresibles, amortiguan la acción sísmica en función a la distancia al epicentro del sismo. La zona II o de transición: (amarilla) presenta características

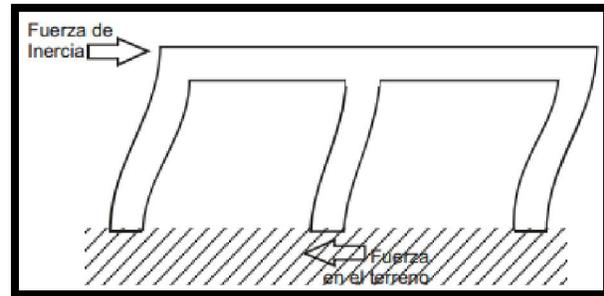


intermedias entre la zona I y la III. La zona III o de lago (roja) localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban lagos (Texcoco y Xochimilco).- El tipo de suelo está constituido por depósitos lacustres muy blandos y compresibles con alto contenido de agua, que favorecen la amplificación de las ondas sísmicas CONSIDERACIONES GENERALES. De los efectos sísmicos en las estructuras.

Variables para el control de la respuesta estructural

INERCIA

La fuerza de inercia es la generada por el movimiento sísmico del suelo que se transmite a los edificios apoyados sobre el terreno, debido a que la base del edificio tiende a seguir el movimiento del suelo, la masa del edificio por inercia se opone a ser desplazada dinámicamente y seguir el movimiento de su base.



PERÍODO Y RESONANCIA

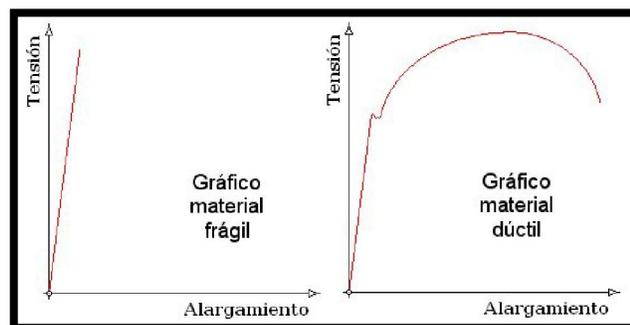
El período es el tiempo que tarda un objeto en cumplir un ciclo cuando vibra, es una característica única del objeto y no se altera a menos que sea forzado a cambiarlo. En un edificio el período (T) depende de la relación entre la masa y la rigidez del sistema (K). $T=2\pi\sqrt{M/K}$. Resonancia: es el aumento en la magnitud del movimiento de la estructura provocado por la suma del período vibratorio de la misma y la del terreno.

AMORTIGUAMIENTO

El amortiguamiento es una característica estructural, que influye en la respuesta sísmica porque decrece el movimiento oscilatorio, se expresa normalmente como una fracción del amortiguamiento crítico (ζ), donde el movimiento resultante en vez de ser oscilatorio decrece exponencialmente con el tiempo hasta hacerse cero.

DUCTILIDAD

La ductilidad se refiere a la capacidad de un sistema estructural de sufrir deformaciones considerables, (por encima del límite elástico) bajo una carga aproximadamente constante, sin padecer daños excesivos. Esta es



una propiedad muy importante en una estructura que debe resistir efectos sísmicos, ya que elimina la posibilidad de una falla frágil y además suministra una fuente adicional de amortiguamiento.

Es por ello que una parte importante del diseño sísmico consiste en proporcionar a la estructura (además de la resistencia necesaria), la capacidad de deformación que permita la mayor ductilidad posible para salvar así a un edificio del colapso. La ductilidad μ , según la Ecuación, se define como el cociente entre el máximo desplazamiento (δ_p) y el desplazamiento de cedencia (δ_y).

RESISTENCIA Y RIGIDEZ

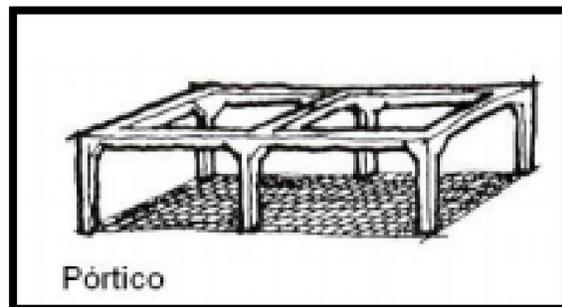
Son dos de los aspectos más importantes del diseño sísmico. La resistencia es el parámetro de diseño donde se busca que las dimensiones de los elementos garanticen la integridad de la estructura sometida a todas las combinaciones de carga posibles y la rigidez relaciona la deformación de la estructura con las cargas aplicadas; este parámetro asegura que la estructura cumpla con las funciones impuestas

La selección de un sistema estructural está determinada por muchos factores, estos son lo que determinan la rigidez del edificio y su distribución en planta incide en la ubicación del centro de rigidez.

CARACTERÍSTICAS DE CADA UNO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES ALTERNATIVOS:

PÓRTICOS

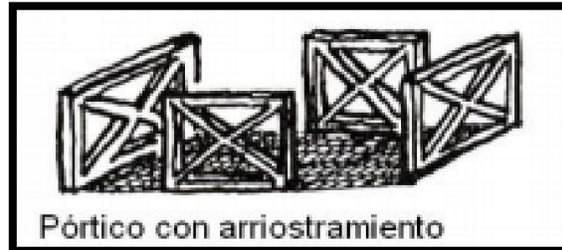
Es un sistema estructural que puede resistir, por lo general, las fuerzas sísmicas; la ventaja principal que posee es su fácil diseño y construcción para resistir grandes demandas de ductilidad, así como la flexibilidad para la



distribución de los espacios internos. Sin embargo, su eficiencia, basada en la resistencia a flexión de vigas y columnas es baja a menos que las secciones transversales de los elementos sean extraordinariamente grandes.

PÓRTICO CON ARRIOSTRAMIENTO

El pórtico rigidizado o arriostrado con elementos diagonales o muros de rigidez, permite aumentar la capacidad lateral sin un costo excesivo. Mediante la acertada distribución de elementos rigidizantes, se puede mantener la



ventaja de la estructura a base de pórticos (distribución de espacios internos y ductilidad), a la vez que la resistencia lateral se ve aumentada. Consideraciones económicas y arquitectónicas, pueden impedir el uso de estos elementos en algunos casos y en otros, pueden presentar desventajas técnicas importantes, ya que en estos sistemas se requiere evitar concentraciones de rigidez en un pequeño número de elementos.

MUROS DE CORTANTE

Muros resistentes al cortante. También denominados muros de cortante, forman un sistema que posee una gran rigidez y resistencia a los desplazamientos laterales, las proporciones de los muros son de tal forma que domina la falla por corte sobre la de flexión. Asimismo, poseen poca flexibilidad para la distribución de espacios internos, debido a los requisitos del sistema.



DIAFRAGMA

Este sistema se refiere a los elementos horizontales de la edificación (pisos y techos), que trasladan las fuerzas laterales a los sistemas resistentes verticales, (muros resistentes al cortante, pórticos o pórticos con arriostramiento). Los diafragmas deben ser infinitamente rígidos para cumplir con la función de trasladar las fuerzas laterales a los sistemas resistentes. También pueden actuar con una rigidez muy baja (diafragmas flexibles), tal como sucede en los sistemas de pisos formados por vigas en una dirección y una losa de lámina delgada. Dicha alternativa no distribuye las fuerzas laterales de manera proporcional a la rigidez del sistema vertical, además existe la posibilidad de ceder ante el empuje generado por el sistema vertical resistente, por lo que invalidan las hipótesis del análisis sísmico y requieren de un estudio especial.

RECOMENDACIONES DE DISEÑO

El diseño de los elementos no estructurales se debe basar en los siguientes criterios: Las fallas no deben ocasionar pérdidas en vidas humanas ni entorpecer la evacuación del edificio. En cuanto a daños materiales: busca disminuir los costos que acarrearán las reparaciones de los elementos no estructurales que en algunos casos se aproxima al costo original del edificio. De la continuidad de operación: Es conveniente que un edificio o una zona particular dentro de la estructura, continúe operando durante y después de un evento sísmico. Por ejemplo un hospital o centros de emergencias que deben seguir operando de manera normal especialmente después de un sismo.

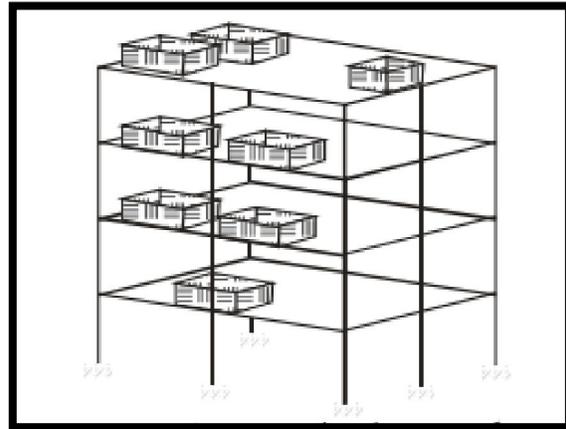


PROCESO DE DISEÑO

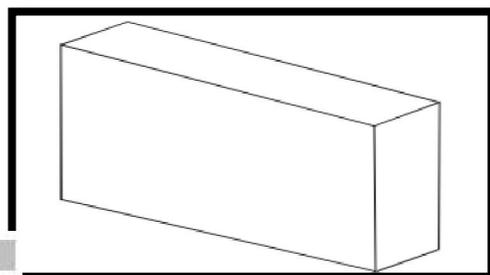
En el proceso de diseño se deben tomar en cuenta las características que son relevantes en el comportamiento sísmico del edificio: El peso, la planta, la elevación y la proporción, la uniformidad y distribución del sistema estructural, así como las distancias y dimensiones.

- **Peso.** En cuanto al diseño por peso hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones: La respuesta sísmica del edificio es difícil de cuantificar cuando la distribución de paredes es de forma complicada, las plantas presentan alas, vestíbulos, balcones, torres, techos en volado, también las que posean aberturas para escaleras, elevadores, ductos y tuberías así como los techos con vacíos para alojar claraboyas, cubos de ventilación y chimeneas. **Se recomienda evitar las masas que sean innecesarias porque se traducen en fuerzas innecesarias.**

- Además las masas ubicadas en las partes altas de un edificio no son favorables, porque la aceleración crece con la altura, de manera que es conveniente ubicar en los pisos bajos las áreas donde se prevean mayores concentraciones de pesos (tales como archivos, bóvedas, equipos de radiología, etcétera). También se debe impedir las fuertes diferencias de peso en pisos sucesivos y tratar que el peso del edificio esté distribuido simétricamente en la planta de cada piso, una posición asimétrica genera un mayor momento de torsión.

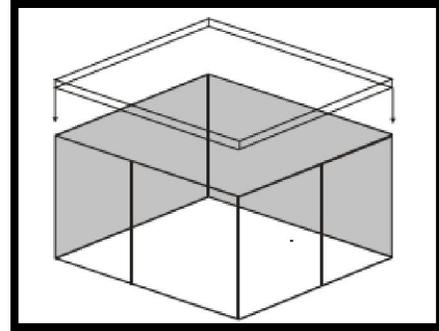


- **Longitud de planta.** Las estructuras con dimensiones considerables en planta, experimentan grandes

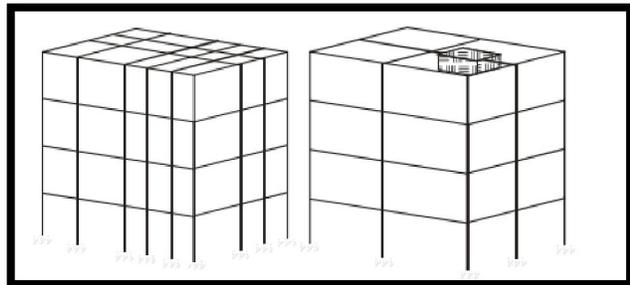


variaciones de la vibración a lo largo de la estructura, las que generan fuerzas de rotación. Estas variaciones se deben a las diferencias entre las estructuras y las condiciones geológicas.

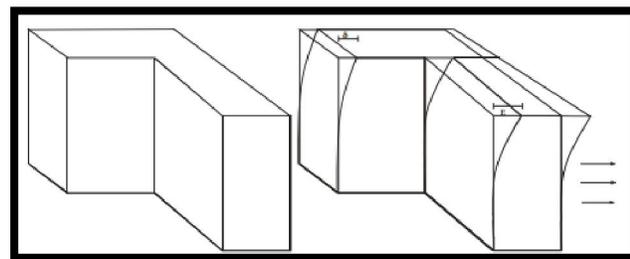
- **Perimetral:** Los muros laterales y/o traseros están sobre los límites de la construcción por lo que no tiene aberturas, mientras la fachada frontal con ventanas hacia la calle es abierta; por lo que el techo tiende a torcerse, generando problemas sobre el edificio.



- **Falsa simetría:** Edificios que poseen una configuración en apariencia sencilla, regular y simétrica, pero debido a la distribución de la estructura o la masa, es asimétrica.



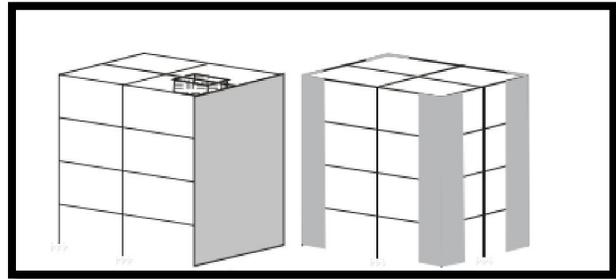
- **Esquina:** Plantas con formas en L, T, U, H, X, o una combinación de estas. Durante un movimiento sísmico cada ala tiene un movimiento diferente y la



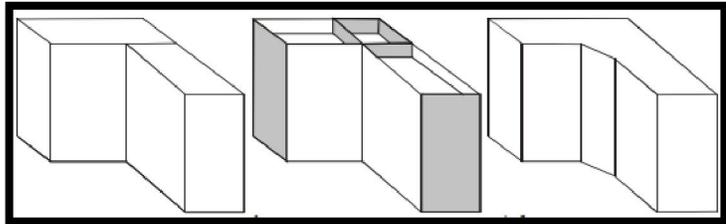
esquina interior o entrante, que es la unión entre las dos alas adyacentes es la parte que más daño va a presentar.

ALGUNAS SOLUCIONES

- **Excentricidad:** La solución puede darse con muros estructurales.



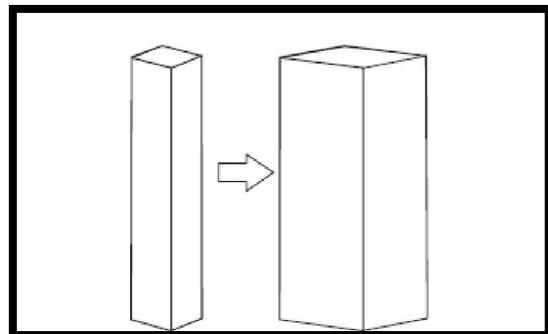
- **Edificio en “ele” :** La solución al problema de esquina tiene dos enfoques; dividir estructuralmente el



edificio en formas más sencillas o unir con más fuerza la unión de los edificios mediante colectores en la intersección, muros estructurales o usar esquinas entrantes achaflanadas en vez de ángulos rectos, que reduzcan el problema del cambio de sección.

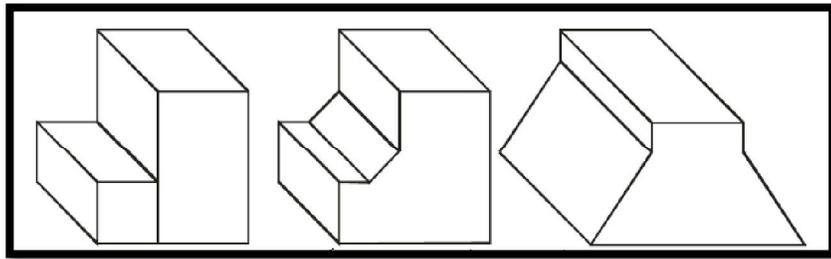
- **Elevación y proporción:** Las reducciones bruscas de un nivel a otro, tiende a amplificar la vibración en la parte superior y son particularmente críticas. El comportamiento de un edificio ante un sismo es similar a una viga en volado, donde el aumento de la altura implica un cambio en el período de la estructura que incide en el nivel de la respuesta y magnitud de las fuerzas.

- **1. Proporción:** Este aspecto puede ser más importante que el tamaño o altura, ya que mientras más esbelto es el edificio mayor es el efecto de voltearse ante un sismo, la contribución de los

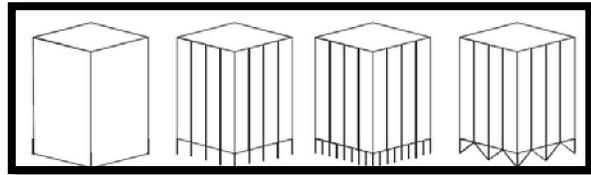


modos superiores es importante y el edificio puede hacerse inestable por el efecto P- Δ .

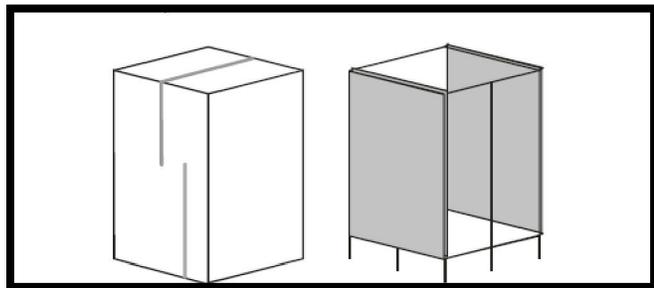
- **2. Escalonamiento:** Consiste en una o más reducciones abruptas en el tamaño del piso de un nivel con respecto al siguiente. También en hacer el edificio más grande a medida que se eleva, lo que se conoce como escalonamiento invertido.



- **3. Piso débil:** El piso débil se refiere a los edificios donde una planta es más débil que las plantas superiores, causado por la discontinuidad de resistencia y rigidez. Este problema es más grave cuando el piso débil es el primero o segundo, niveles donde las fuerzas sísmicas son mayores.

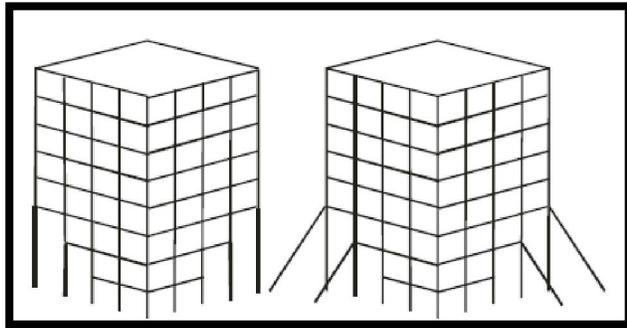


- **4. Muro discontinuo:** Cuando los muros de cortante no cumplen con los requisitos de diseño se puede considerar que generan un problema como el de piso débil. Por otra parte, un muro de cortante discontinuo es una contradicción fundamental de diseño; el propósito de un muro de cortante

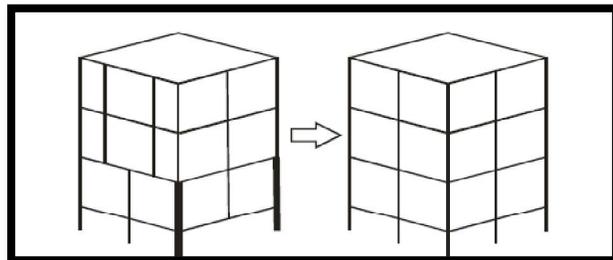


es resistir las fuerzas de inercia que se originan en los diafragmas y transmitir las hacia la fundación en la forma más directa posible, por lo que interrumpir esta trayectoria se convierte en un error y realizarlo en la base es un problema aún mayor, siendo el peor caso de la condición de planta baja débil.

- 5. Variación en la rigidez:** El origen de este problema por lo general reside en consideraciones arquitectónicas realizadas sobre terrenos en colinas, relleno de porciones con material no estructural pero rigidizante para crear una faja de ventanas altas, elevación de una porción del edificio sobre el nivel del terreno mediante elementos altos, en tanto que otras áreas se apoyan sobre columnas más cortas, o bien, rigidización de algunas columnas con una mezzanine o desván, mientras otras se dejan de doble altura sin rigidizarlas. Estas configuraciones generan una columna corta que es más rígida y bajo cargas laterales, atraerá fuerzas que pueden estar desproporcionadas con su resistencia. Columnas que igualan las rigideces.

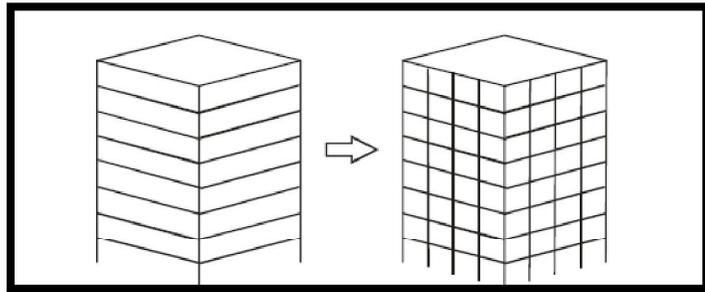


- La influencia del sistema estructural en la respuesta sísmica es indiscutible, ya que suministra la resistencia y rigidez necesaria para evitar daños no estructurales durante sismos moderados, así como garantiza la integridad del edificio. Por lo tanto, es importante que el arquitecto proponga un sistema adecuado



para lo cual debe considerar la simplicidad y simetría, igualmente es conviene tomar en cuenta aspectos tales como: cambios de secciones, redundancia, densidad en planta, diafragma rígido, columna fuerte – viga débil, interacción pórtico – muro. Con relación a la imagen anterior: Las configuraciones uniformes tienen mejor comportamiento.

- La hiperestaticidad favorece las líneas alternas de carga (redundancia).



COROLARIO

En este trabajo se describen las acciones sísmicas generadas por la pérdida de estabilidad de masas de la corteza terrestre, tal como sucede en nuestro país, sobre todo con los deslizamientos de las placas suboceánicas, y las reacciones y consecuencias en las estructuras creadas por el hombre. Si contamos además la frecuencia con las que se presentan, sobre todo los de baja intensidad, sabemos que las estructuras lentamente se dañan, a veces de forma imperceptible. Los sismos de alta intensidad no son predecibles, pueden ocurrir en cualquier momento, y los edificios ya dañados previamente, pueden ocasionar grandes pérdidas de vidas humanas y de bienes.

Esta situación puede verse agravada por un diseño de estructuras que no tome en cuenta las características del terreno donde piensa ubicarse, dejando a los usuarios de la misma en condiciones de alto riesgo, en el caso de presentarse un evento de esta naturaleza. Los sismos ocurridos en el pasado reciente, sobre todo el ocurrido en la ciudad de México en 1985 dejaron en las personas que los padecieron, fuertes sentimientos y recuerdos difíciles de olvidar por la gran tragedia vivida. Pero para las personas que directa o indirectamente se dedican a

la realización de éstas estructuras, deben también ser un ejemplo de lo que puede suceder, de no poner atención en las fuerzas de la naturaleza y sus consecuencias.

Los daños que presentaban las estructuras afectadas, de alguna manera dejaron enseñanzas, en muchos casos de importancia, de errores y defectos que acompañaban a las estructuras, y que determinaron extensos daños o el colapso de las mismas. En términos redondos, podemos decir que el 40% de los edificios dañados eran edificios de esquina, que sufrieron el empuje de sus vecinos y no pudieron pasarlo o resistirlo. El 45% eran edificios con losas reticulares, que carecían de capiteles o de nervaduras principales. Un 30% presentaban formas en planta con alas de pequeña sección, en forma de “T”, “U”, “L”, “V” o “X”. El 40% planta baja débil sobre columnas y pisos superiores con muros y columnas (70% en la colonia Roma).

En este trabajo se presentan los errores, defectos y malos planteamientos de algunos proyectos y la forma de corregirlos, pensando desde el punto de vista de eventos naturales como los terremotos, esperando que sean del interés de los involucrados en la realización de edificios. Como es de suponerse, sólo se presentan algunos ejemplos y soluciones de lo observado sobre el tema, haciendo notar que sólo se trata de una pequeña parte de la realidad, con la esperanza de que otras personas se interesen en el estudio del problema y continúen la búsqueda de soluciones apropiadas, que permitan una edificación más segura y menos costosa en el caso de desastre, para el bienestar de todos.

BIBLIOGRAFÍA

- ⊙ <http://revista.eia.edu.co/articulos6/Articulo9.pdf>
- ⊙ <http://www.arquigrafico.com/como-construir-edificaciones-resistentes-terremotos>
- ⊙ <http://uniof.wordpress.com/2012/02/21/contra-los-terremotos-buenos-son-los-edificios-invisibles/>
- ⊙ <http://www.arguba.com/curso-construccion-sismo-resistente-cana-bambu/construccion-viviendas-sismos/>
- ⊙ <http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/jorgem/principal/guias/sismico.pdf>
- ⊙ http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Fallas_Frecuentes.pdf
- ⊙ <http://www.educablogs.org/ingenieriacivil/tag/falla/>
- ⊙ <http://helid.digicollection.org/en/d/Jcr01s/6.7.html>
- ⊙ <http://www.slideshare.net/alaide/arquitectura-sismica>
- ⊙ ARNOLD, Reitherman. Configuración y Diseño Sísmico de Edificios. Ed. Limusa. México. 1987.
- ⊙ CREIXELL, José. Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento. M. Editorial LIMUSA. 1993
- ⊙ CREIXELL, José. Estabilidad en las Construcciones. Reverté Ediciones SA. México.
- ⊙ MELLI, Piralla. Diseño Estructural. Ed. Limusa. México. 1992.
- ⊙ Diseño de Estructuras resistentes a Sismos, autores varios. Editorial IMCYC. 1980.

