

Influencia de la configuración en la vulnerabilidad sísmica de los edificios modernos

COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES DURANTE LOS TERREMOTOS

La situación geográfica de la **República Dominicana** la convierte en un país de alta ocurrencia sísmica

Preparado por:
Arq. Marino E. Sánchez N.



Santo Domingo
República Dominicana
2023



PROHIBIDA LA VENTA
DONADO PARA FINES EDUCACIONALES

INTRODUCCION

Esta presentación es un acopio y resumen de algunos contenidos o temas de varios autores, sobre como influye la configuración en la inseguridad de las edificaciones cuando es afectada por un sismo.

Expondremos algunos factores que explican el origen y las causas que provocan esta inseguridad. También mostraremos algunas sugerencias que pueden ayudar a minimizar y limitar el impacto que produce un terremoto en las edificaciones.

Estos conocimientos generales queremos dirigirlos especialmente a los estudiantes de arquitectura, los futuros arquitectos, quienes tendrán la responsabilidad de tomar la decisión de configurar las edificaciones en general.

PROHIBIDA LA VENTA
DONADO PARA FINES EDUCACIONALES

NOTA

Presentación (PPT) realizada por el profesor Arq. Marino E. Sánchez N. a los estudiantes de su clase de las asignaturas Diseño Arquitectónico, Introducción a los Sistemas Estructurales y Construcción. Facultad de Arquitectura Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM), Santiago, R.D.-2012. (Actualizado 2020)

Fuente: Guevara, Perez, Teresa. **Arquitectura moderna en zonas sísmica**. Editora Gustavo Gili, SL Barcelona, 2009.

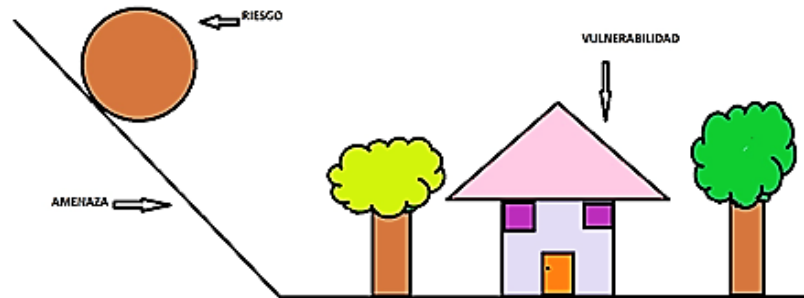
ANEXO

El riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad.

Amenaza es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que **daños** a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia.

Vulnerabilidad son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Con los factores mencionados se compone la siguiente fórmula de riesgo.

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$



Los factores que componen la vulnerabilidad son la exposición, susceptibilidad y resiliencia.

$$\text{VULNERABILIDAD} = \text{EXPOSICIÓN} \times \text{SUSCEPTIBILIDAD} / \text{RESILIENCIA}$$

Exposición es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo.

Susceptibilidad es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

Resiliencia es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas

Configuración: Conjunto de rasgos que configuran o dan a una cosa el aspecto o la estructura que la caracterizan y la hacen como es. Disposición interrelacionada y coherente de las partes de un conjunto. Dar determinada composición, forma o figura a una cosa.

Influencia de la configuración en la vulnerabilidad sísmica de los edificios

PROHIBIDA LA VENTA
DONADO PARA FINES EDUCACIONALES



Evolución e incorporación de las configuraciones irregulares modernas en el diseño de los edificios en particular y de las ciudades contemporáneas en general.

A finales del siglo XIX comenzó a cambiar el carácter productivo de la ciudad, por el de los grandes negocios mercantiles (comercio y servicios) debido al desarrollo de los capitales financieros. Paralelamente, en Europa y estados Unidos se producían las revoluciones científicas y tecnológicas que incluían la construcción, los servicios y los diversos tipos de organización físico espacial y socio institucional.

Hasta el inicio de la etapa de transición en la evolución de la ciudad capitalista, los bloques de edificios continuos de los centros urbanos alojaban actividades comunes de la ciudad (viviendas, comercios, escuelas, oficinas); Los edificios conformaban las manzanas sin diferenciarse notablemente del vecino. En la ciudad solo se construían edificios singulares para destacar monumentos, instituciones políticas , religiosas, o residencias suntuosas de poderosos propietarios.



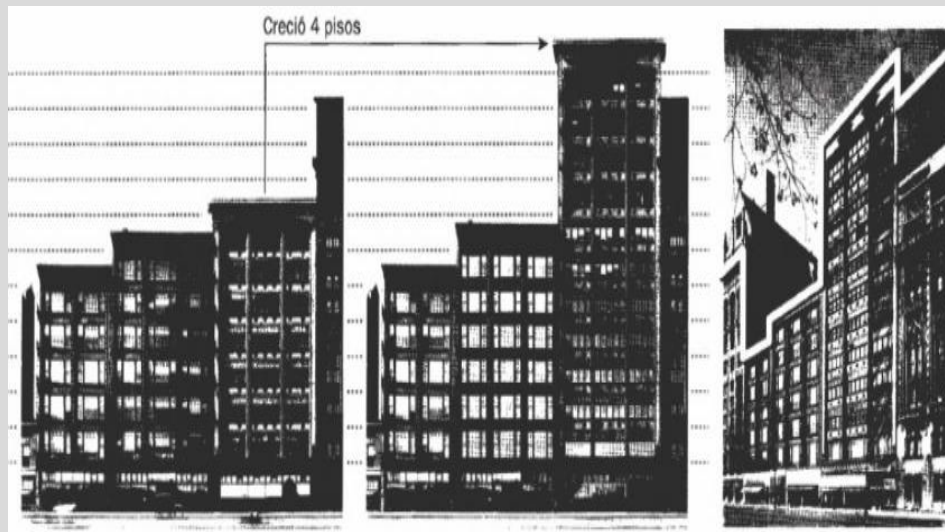
Normativa Urbana

Nuevos lineamientos, nuevas disposiciones

A) La normativa urbana a finales del siglo XIX, estaba guiada por el cumplimiento de alineamiento de todas las fachadas que daban a la calle y que todos los entresijos tuvieran la misma altura, pero con relación a la altura total, cada edificio tendría la que pudiera alcanzar.

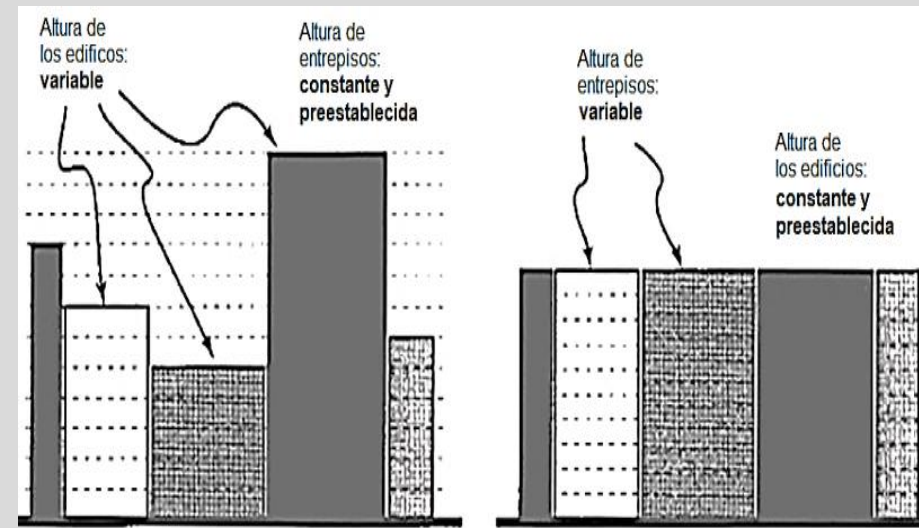
B) En Europa, más que en Estados Unidos, pretendían establecer los alineamientos, y a través de una normativa precisa, que se mantuviera la misma altura total de los edificios, pero dando mayor libertad en las alturas de entresijos, permitiendo su reducción.

Esta normativa autorizó la incorporación de semisótanos y dentro de la altura máxima permitida, autorizó a construir el mayor número de pisos para rentabilizar al máximo el suelo, aunque establecía una altura libre mínima de entresijos de 2.40 m.



Alineamiento de todas las fachadas que daban a la calle y cada edificio tendría la altura que pudiera alcanzar.

(Edificio Gage, en Chicago, a la estructura original se le agregaron 4 pisos)

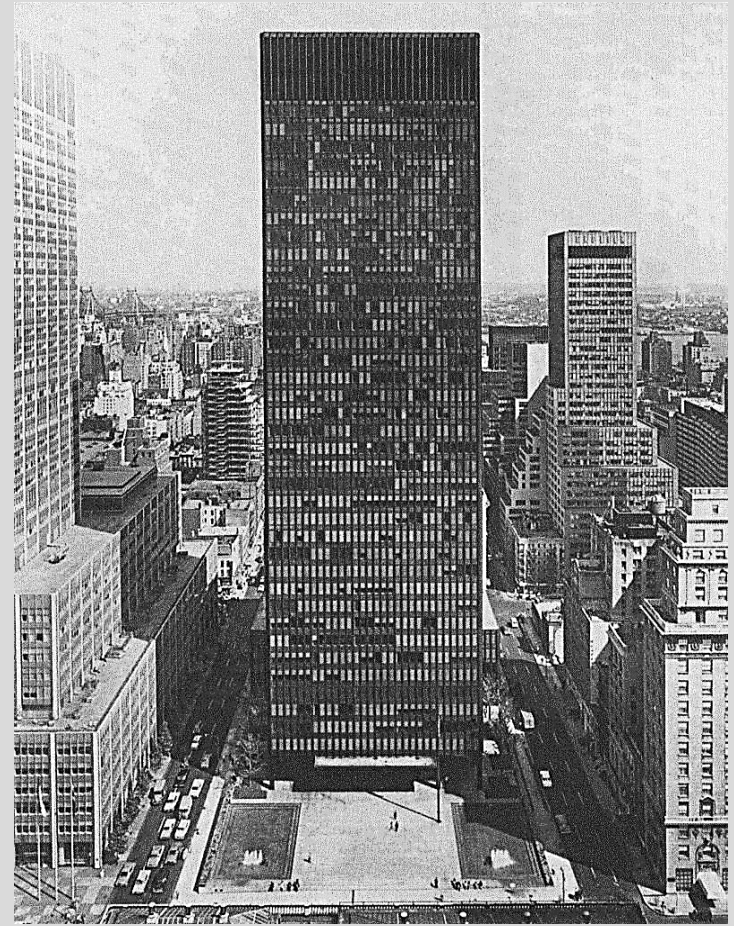


Estados Unidos

Europa

Otros factores creadores del caos urbano **que explican el origen de la configuración irregular moderna** en el diseño de los edificios y las ciudades contemporáneas en general, consisten en:

- 1) Combinar la liberación de los dos aspectos anteriores, diferentes alturas de las fachadas de los edificios y diferentes alturas de pisos.
- 2) Añadir la exigencia de ampliar en un futuro la calle, por lo que los nuevos edificios deberían retirarse de la alineación original de la misma
- 3) Establecer los retranqueos (retiros) sucesivos que permitieran que las calles y los espacios internos de los edificios dispusieran de iluminación natural, generando los tipos de escalonamientos en las partes superiores de estos, creando no sólo un caos volumétrico, sino además una mayor vulnerabilidad urbana y arquitectónica, cuando estas estructuras están expuestas a un sismo.



El edificio singular en la ciudad contemporánea

A partir de los años de 1920, culminada la I Guerra Mundial (1914-1918) en Europa y la etapa de transición(1850-1920) en la evolución de la ciudad capitalista, se produjo un cambio radical debido a la reconsideración de su función, que se transformó en la ciudad corporativa, o, como se denominará en adelante, la ciudad contemporánea.

Ante las condiciones de insalubridad y desorden urbano que caracterizaban a las zonas industriales de las grandes ciudades postindustriales, un grupo de arquitectos y urbanistas europeos y estadounidense instauraron en 1928 el primer Congreso Internacional de la Arquitectura Moderna (CIAM), para discutir y establecer nuevos conceptos y preceptos que debían guiar la arquitectura y urbanismo de las ciudades. Surgió así el movimiento moderno y estos preceptos han dominado desde entonces el diseño y la construcción de los edificios que han caracterizado a la ciudad contemporánea. Uno de los aspectos más notable que surgió con este movimiento fue el edificio singular.



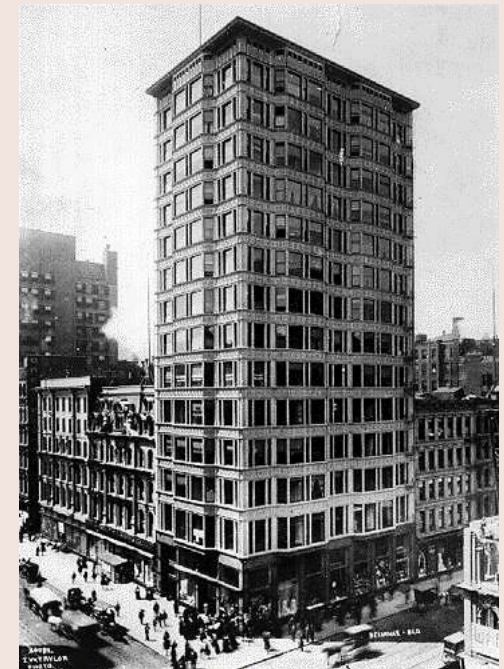
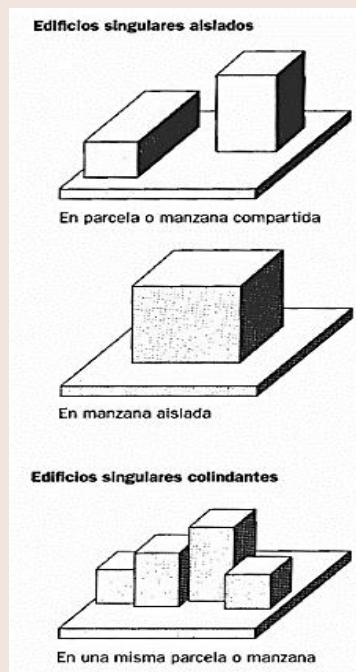
Origen del Edificio singular (Solo)

El punto de partida fue romper con la limitación de que sólo los edificios muy especializados podían ser aislados. El desarrollo tecnológico permitió dotar de todos los servicios a cada unidad, cada vez con mayor autonomía, incluso de los servicios de la ciudad. Desde ese momento, y de manera progresiva, **cualquier edificio de altura** que incluyera varias funciones urbanas, **podía ser pensado y diseñado como un organismo autónomo**, con resultados determinados por sus componentes internos (como sistema) y no simplemente como una continuación de los alineamientos urbanos.

Esta concepción del edificio singular como sistema autónomo **tiene su origen en** la conjunción de **muchos factores**:

Comenzando por la ideología que enfatizó la individualidad y lucro particular, teniendo como punto de partida el postulado del padre de la economía política, Adam Smith (Inglaterra ,1776), quien planteó que ‘una sociedad maximiza su grado de bienestar cuando las acciones de cada uno de sus individuos está orientada a su propio bienestar’.

Por otro lado, la demanda de edificios que se adaptaran al desarrollo creciente y vertiginoso de la producción, el transporte, el comercio y la administración, acompañadas del espíritu de aventura, invención, innovación y vanguardia mundial en técnicas diversas, propiciaron la construcción de los primeros rascacielos con avances no solo estructurales, sino también en las comunicaciones y ambientales.



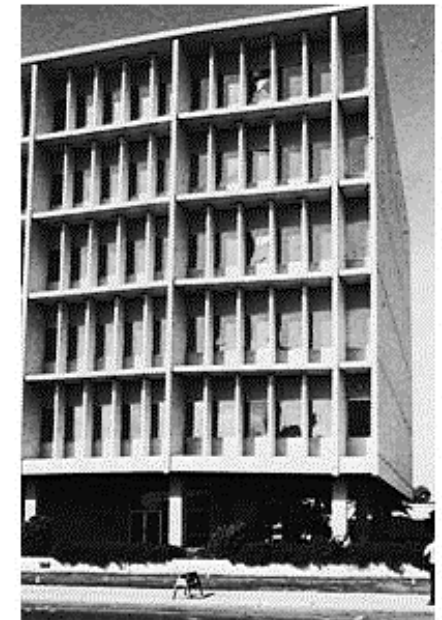
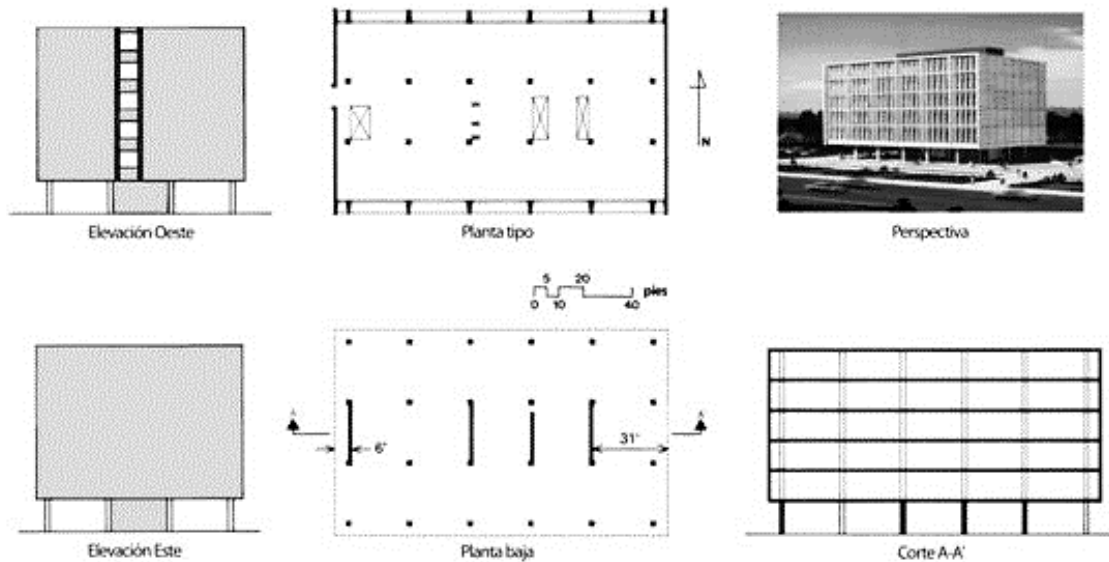
Evolución de la configuración arquitectónica tipo planta libre.

En términos de arquitectura moderna se conoce la planta libre como un piso del edificio en el que la mayor parte de su espacio interior no presenta paredes o muros rígidos, inamovibles o difíciles de remover.

La serie de ventajas tanto estéticas como funcionales que proporciona este concepto de diseño arquitectónico ha sido la causa por la que internacionalmente desde principios del siglo XX se ha estimulado y en algunos casos hasta se obliga su uso a través de las normas de zonificación urbana (NZU) en gran parte de las ciudades contemporáneas.

La planta libre ha sido ampliamente utilizada tanto en zonas que no son sísmicamente activas como en las que sí lo son, generando innumerables edificios con irregularidades estructurales identificadas en las normas sísmicas como de los tipos **piso blando** y **piso débil**, con los consecuentes efectos desastrosos cuando ocurre un sismo.

Estos dos conceptos suelen confundirse y a veces hasta usarse como sinónimos aun cuando cada uno de ellos está relacionado con una característica física de la estructura de tipo diferente: el piso blando o piso flexible con la rigidez y el piso débil con la resistencia a las fuerzas producidas por los sismos.



La planta libre: aprovecha las virtudes del hormigón, que hace innecesarios los muros portantes. De esta forma, se mejora el aprovechamiento funcional y de superficies útiles, liberando a la planta de condicionantes estructurales.

Descripción e interpretación de la configuración arquitectónica tipo planta libre

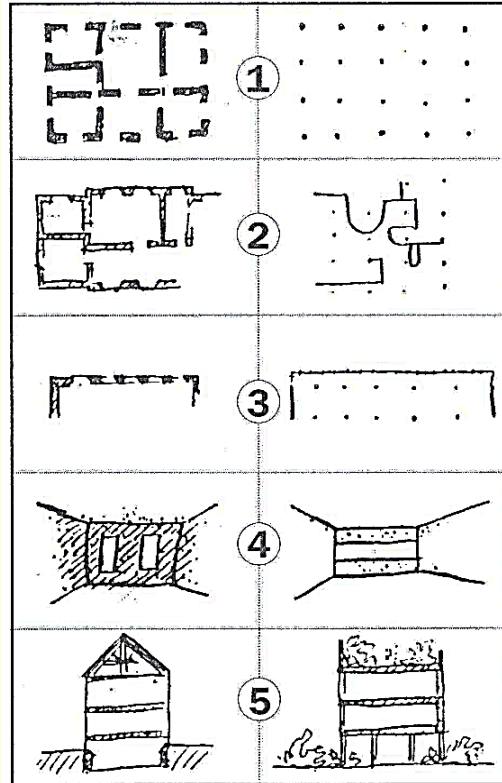
La configuración arquitectónica tipo **planta libre**, tan común en la ciudad contemporánea, se deriva principalmente de tres de los cinco puntos para una nueva arquitectura de Le Corbusier que definen los postulados de la arquitectura moderna:

- (1) **los pilotis**: son columnas muy esbeltas en la planta baja o piso a nivel de la calle que se deja libre de paredes, con lo cual se crea una especie de espacio “vacío” entre el terreno y la primera planta habitable, dando la sensación de que el edificio flota en el aire y permitiendo la circulación peatonal a través de este espacio;
- (2) **la planta libre**: se traduce en una planta de arquitectura sin ningún, o muy pocos, muros o paredes inamovibles, dando mayor libertad para la disposición de las actividades que allí se realizan y eliminando las restricciones de diseño arquitectónico que imponía en los edificios tradicionales la presencia de muros estructurales;
- (3) **la fachada libre**: libre de muros estructurales, que permite una mayor flexibilidad en el diseño, distribución y uso de materiales para el cerramiento exterior del edificio, y hasta la opción de prescindir de éstos.

Los 5 puntos dibujados por Le Corbusier

Cómo es: tradición a evitar

**Cómo debe ser*: dogma a seguir

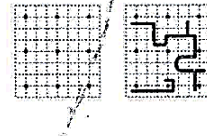


Descripción e interpretación

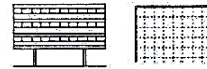
1. Los pilotis son para levantar del suelo el volumen sólido del edificio y dejar un espacio libre en la planta baja.



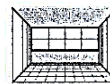
2. La planta libre, con paredes interiores independientes de la estructura, permiten una mayor libertad para dividir los espacios.



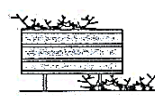
3. La fachada libre, un cerramiento exterior flexible y variable, sin funciones estructurales, se limita sólo a separar el interior del exterior.



4. La ventana alargada: la independencia funcional entre la estructura y las paredes permite los ventanales longitudinales o alargados, de columna a columna.



5. El techo jardín: construcción de techos planos para ser usados como espacios para ser vividos.



Instauración de la configuración arquitectónica tipo planta libre


La instauración internacional de los postulados modernos se realizó a través del *Congreso Internacional de Arquitectura Moderna* (CIAM) que se celebró desde 1928 hasta su disolución en 1959. Estos postulados se fundamentaron en el uso de los nuevos materiales de construcción y estructuras porticadas de concreto reforzado que se venían desarrollando desde finales del siglo XIX y que hicieron factible la construcción de edificios soportados por columnas muy esbeltas, dejando de lado el sistema estructural de muros que predominó hasta principios del siglo XX..

En los gráficos e imágenes de la parte inferior se ilustran y se comparan los diferentes aspectos de la arquitectura tradicional y la propuesta moderna por Le Corbusier.

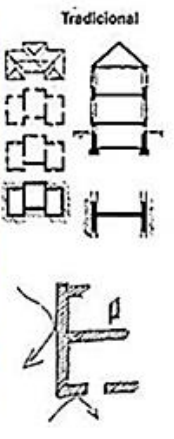
Los edificios tradicionales: con muros portantes funcionalmente inflexibles, y algunas de sus desventajas son: insalubridad, ineficiencia y desperdicios

El diseño moderno: con una estructura independiente, planta y fachada libres, y algunas de sus ventajas son: economía, higiene y circulación peatonal separada de la circulación vehicular.

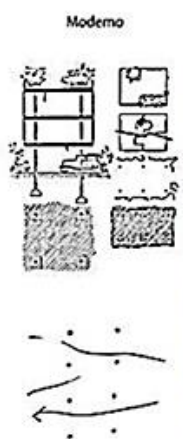
Tradicional




Tradicional



Moderno




Moderno



5 puntos de Le Corbusier


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Tradicional



insalubrité
inefficience
gasillage

Moderno



economie
hygiène
circulation

	Tradicional	Moderno
Signo de	Estancamiento y atraso	Progreso
Altura de edificios en centros urbanos	Baja	Alta
Proceso constructivo	Producción artesanal; caro y consume gran cantidad de tiempo	Métodos mecanizados, automatizados y producción masiva de componentes; económico y rápido
Sistema estructural	Muros estructurales de mampostería	Pórticos de acero y concreto armado

Comparación entre los modelos edificados tradicional y moderno

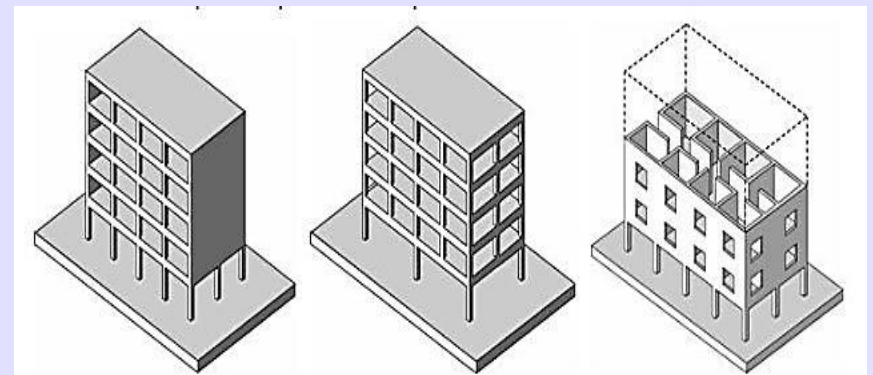
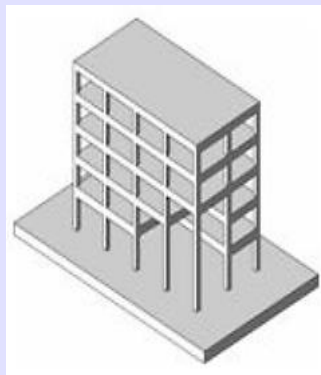
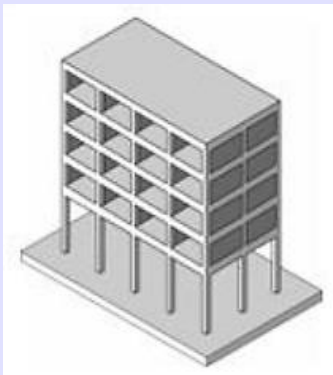
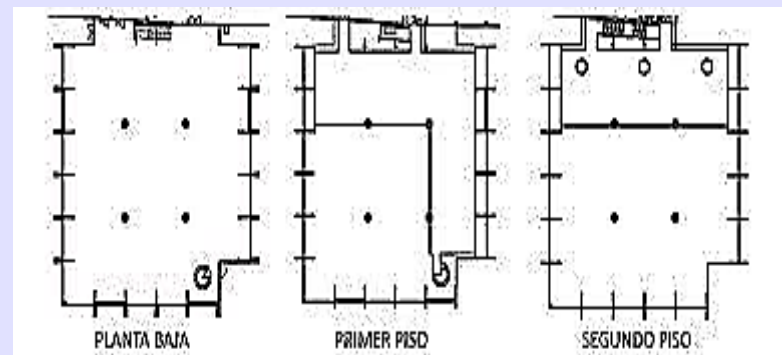
Efecto y consecuencia de la configuración moderna tipo planta libre, generadora de irregularidades sísmica

La irregularidad en la configuración es uno de los factores que se incluyen actualmente en la mayoría de las normas sísmicas para definir el procedimiento de análisis que se aplicará en el diseño sismorresistente de los edificios. Estas irregularidades se deben generalmente a decisiones arquitectónicas tomadas en el diseño original del edificio, o en remodelaciones posteriores.

Las normas establecen dos categorías de irregularidades: en **planta** y en **alzado**.

Entre los tipos en alzado se han establecido: **Piso blando** (distribución irregular de la rigidez) y **Piso débil** (distribución irregular de la resistencia). Ambas configuraciones se conocen en términos arquitectónicos como tipo planta libre.

El origen arquitectónico de estas configuraciones, se deriva principalmente de los postulados de la arquitectura moderna que se establecieron desde mediados del siglo XX y se adoptaron mundialmente tanto en zonas no sísmicamente activas como activas.



Esquema de edificio moderno con planta baja de gran altura esquema y foto de desconexión parcial o total entre componentes estructurales

Casos de generación de piso débil en la planta baja de los edificios.

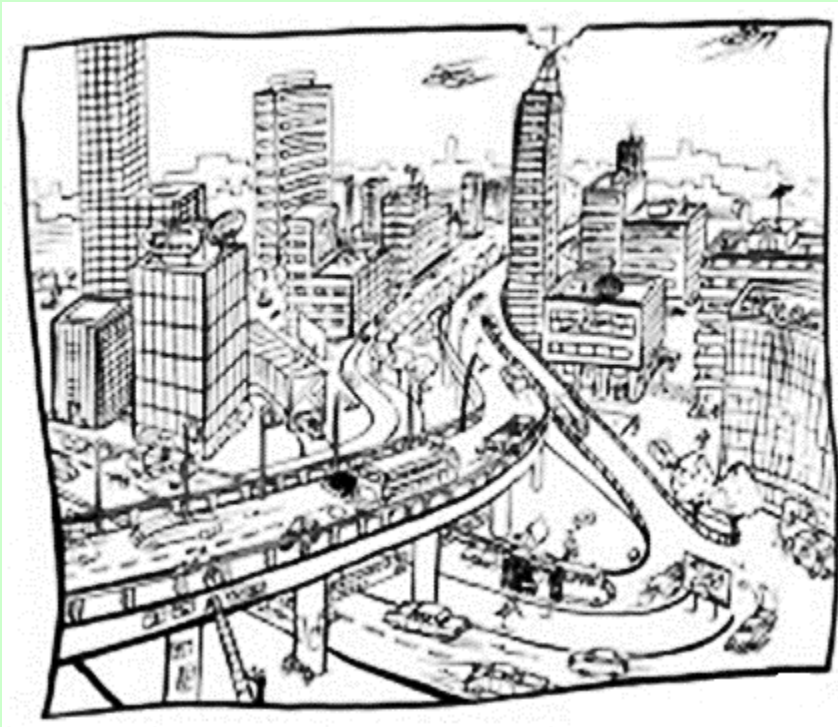
La arquitectura de la ciudad contemporánea

Nuevas técnicas constructivas, nuevos tipos, nuevas concepciones espaciales y nuevos problemas

Los grandes cambios progresivamente se produjeron con la revolución industrial, el desarrollo de la ciudad capitalista y el surgimiento de nuevos tipos de edificios que combinados alteraron y transfiguraron las técnicas constructivas y la profesión de construir.

La producción industrial acentuó la división del trabajo aun dentro del mismo proceso de diseño. En la medida en que surgían nuevos tipos de edificio, nuevos materiales, nuevas técnicas y nuevos procesos, se fue acentuando el surgimiento de nuevos desafíos, conocimientos, habilidades y propuestas de diseño.

Esto provocó un deslinde institucional y laboral entre arquitectos e ingenieros. Esta marcada separación, cambió la forma de asignar las atribuciones de cada profesión e hizo que se sectorizaran las responsabilidades en el proceso de diseño y construcción de edificios. De esta manera, tanto arquitectos como ingenieros perdieron la imagen holística en el comportamiento de los edificios y la ciudad como un todo.



La influencia de la configuración en la vulnerabilidad sísmica de los edificios modernos

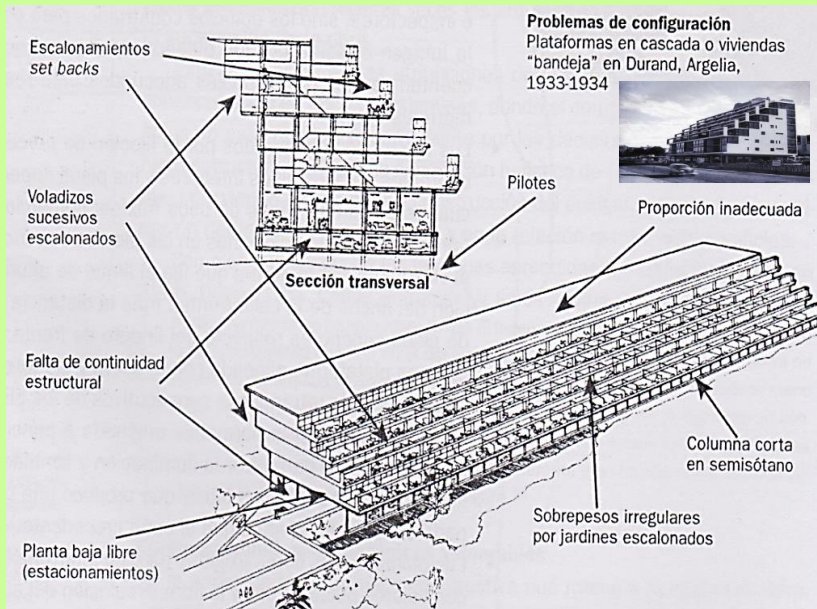
En el aspecto formal, el movimiento moderno fue una respuesta a los múltiples estilos del siglo XIX. En la práctica los cinco puntos que definen los postulados de la arquitectura moderna, se convirtieron en el estilo internacional, nombre adecuado para resumir la esencia de la globalización del capital al inducir la descontextualización edificatoria mundial (altera las normas establecidas).

A partir de esta política, desde los años veinte del siglo xx, profesionales y clientes diseñan y construyen cualquier tipo de arquitectura, desatándose un ‘ todo vale ’ que ha ido incorporando a las ciudades, edificios innovadores y de eclecticismo informal.



Crterios que inducen a diseñar configuraciones que aumentan en vez de disminuir la vulnerabilidad de los edificios

- 1- **La aplicación de los cinco puntos de Le Corbusier**, la promoción de los edificios individuales en parcelas independientes, **unidos al Laisser faire** (dejar hacer) **de la época**, generaron una gran variedad de formas arquitectónicas identificadas hoy como irregulares y con configuraciones que pueden aumentar la vulnerabilidad en zonas sísmicas
- 2- **Edificios construidos para especular**, que imitan la imagen ofrecidas por los diseños de los rascacielos, pero que no cuentan con los profesionales adecuados para realizar un diseño sismo resistente.
- 3- **Edificios con una plataforma alineada con la acera y las torres retraídas**. Esta exigencia generada por la fijación de porcentajes de ubicación para los pisos inferiores y los pisos superiores en las zonas de usos mixtos, da lugar a retranqueos (retiros, linderos).
- 4- **Los retranqueos** (retiros) **consecutivos de los pisos superiores** para garantizar la iluminación y ventilación de los espacios interiores de los edificios altos, que produce una configuración escalonada del edificio
- 5- Las **plantas bajas libres** exigidas para no interrumpir las vistas, la libre circulación del aire y de las personas en la planta baja o para la ubicación de estacionamientos de vehículos.
- 6- La **determinación de alturas diferentes** para la planta baja de los edificios dedicada al uso comercial y las superiores que se destinan a viviendas u oficinas. Esta norma persigue la oportunidad de creación de mezanines en los locales comerciales.



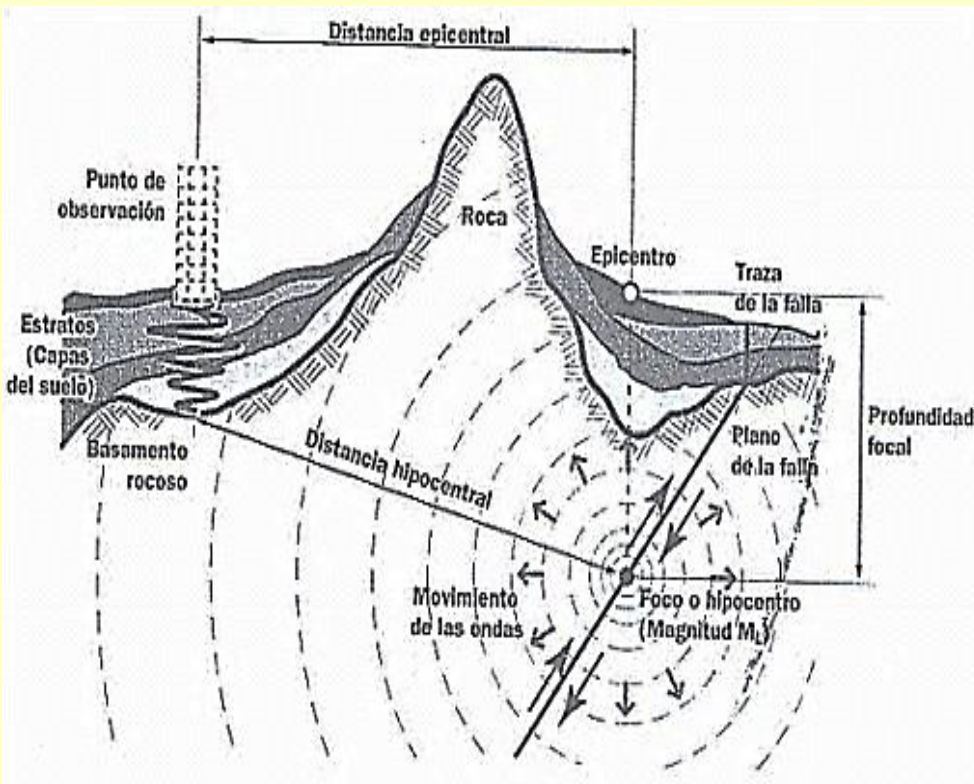
Sismo en la ciudad de México visto desde Torre Latinoamericana (19/Sept./2017)

VER VIDEO > https://www.youtube.com/watch?v=rFQX_beMDNo

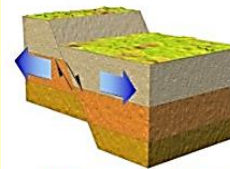


El fenómeno sísmico

Un sismo, seísmo, terremoto o temblor, ocurre cuando en un lugar de la corteza terrestre llamado foco o hipocentro se produce la liberación brusca de energía de deformación, originada por causas internas de la tierra, que ha estado acumulada en una de las fracturas existentes de la corteza terrestre denominadas fallas. Al liberarse la energía, los bloques de la corteza terrestre se mueven uno con relación al otro en el plano de la falla. En segundos la energía se libera y se propaga en formas de ondas de alta y baja frecuencia que se propagan desde el hipocentro en todas las direcciones.

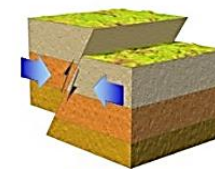


Tipos básicos de fallas



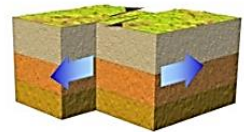
Falla normal o directa

- El plano de falla buza hacia el labio hundido.
- Se origina por fuerzas de tracción.



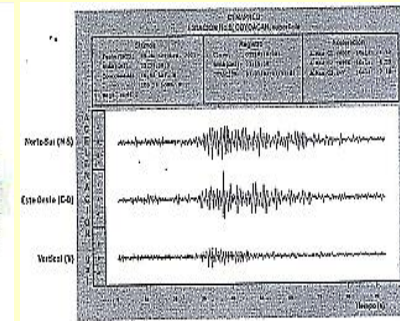
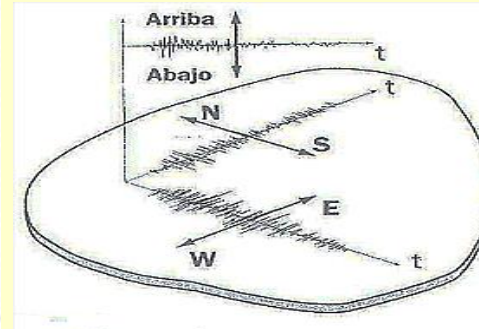
Falla inversa

- El plano de falla buza hacia el labio levantado.
- Se origina por esfuerzos de compresión.



Falla de desgarre

- No hay labio levantado ni hundido.
- Hay un desplazamiento relativo de los bloques.



LAS PLACAS TECTÓNICAS

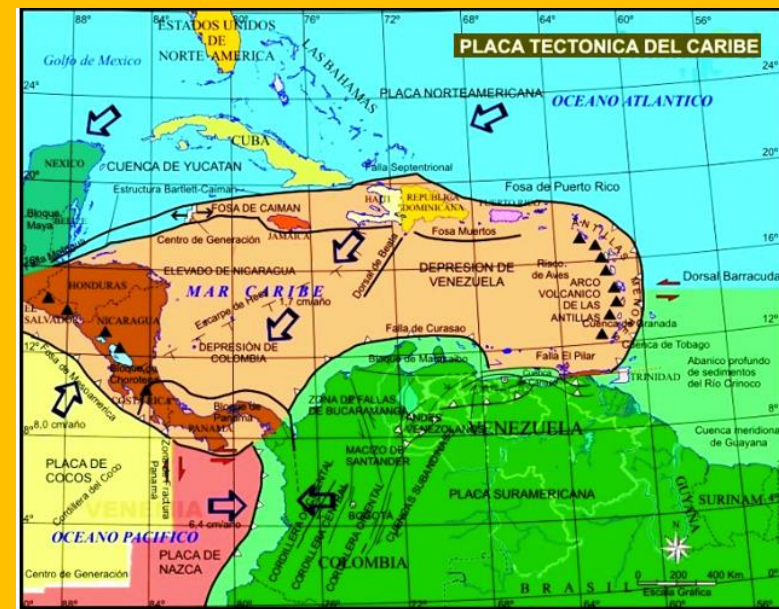
A world map illustrating the global distribution of tectonic plates. The plates are color-coded: yellow for shields, orange for ancient cratons, and purple for mountain ranges. Red dashed lines indicate plate boundaries. Green arrows show convergent boundaries (collision), red arrows show divergent boundaries (separation), and small red squares mark active volcanoes. A large black arrow points from the North American Plate towards the Caribbean Sea.

Placas identificadas:

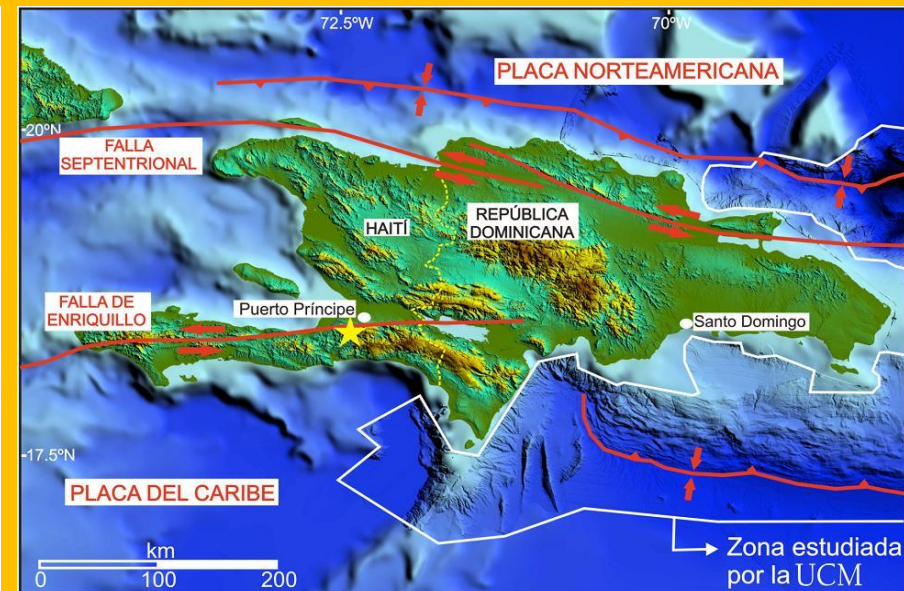
- PLACA PACÍFICA
- PLACA NOROCCIDENTAL DEL AMÉRICA
- PLACA DE COCOS
- PLACA DEL CARIBE
- PLACA DE NAZCA
- PLACA SUDAMERICANA
- PLACA EUROASIÁTICA
- PLACA ARÁBIGA
- PLACA AFRICANA
- PLACA ANTÁRTICA
- PLACA INDIAUSTRALIANA
- PLACA DE FILIPINAS
- PLACA PACÍFICA (Oriental)

Legenda:

- Límite de placas
- Escudos
- Macizos antiguos
- Cordilleras
- Colisión de placas
- Separación de placas
- Volcanes activos



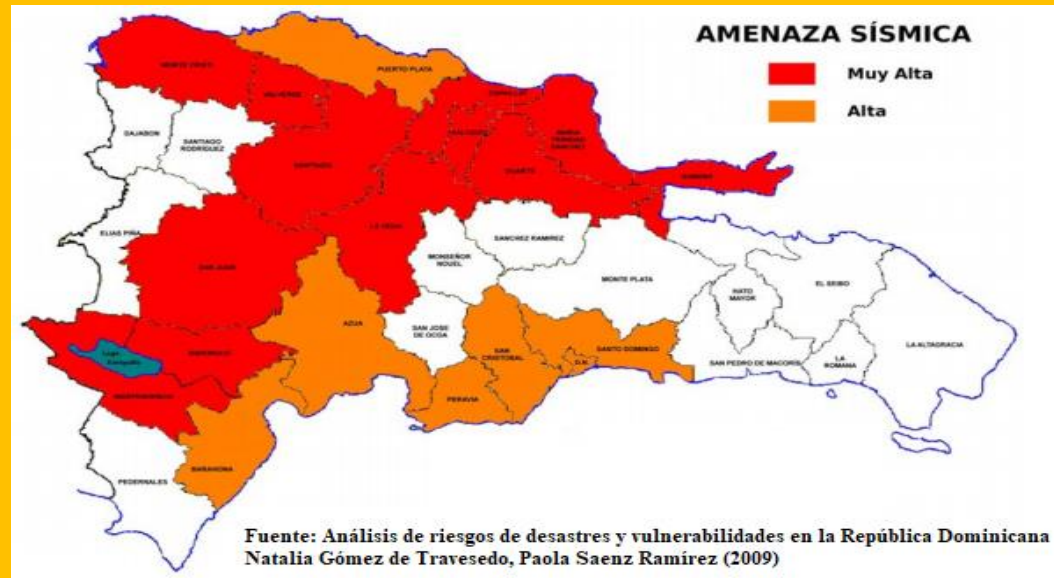
Mapa de la distribución superficial de las placas tectónicas en el planeta
Placa tectónica del caribe y Fallas Sísmicas de la isla Hispaniola, R.D.



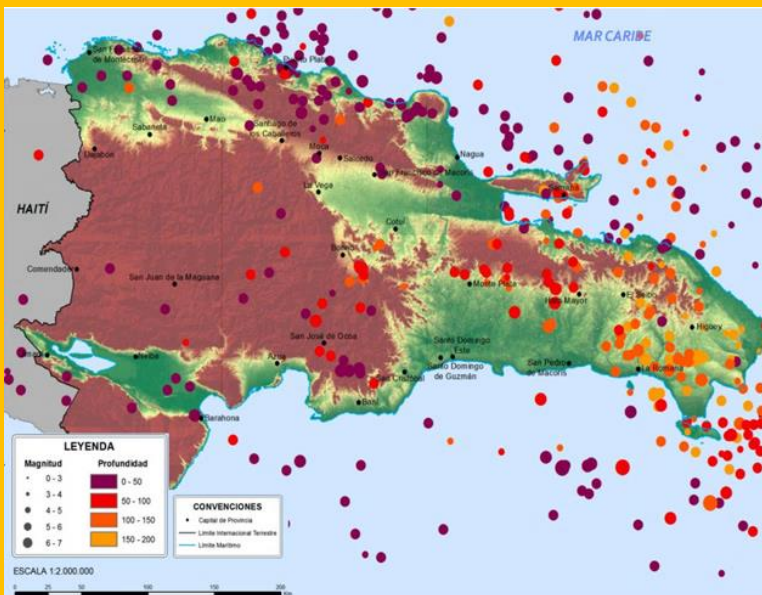
La situación geográfica de la República Dominicana la convierte en un país de alta ocurrencia sísmica



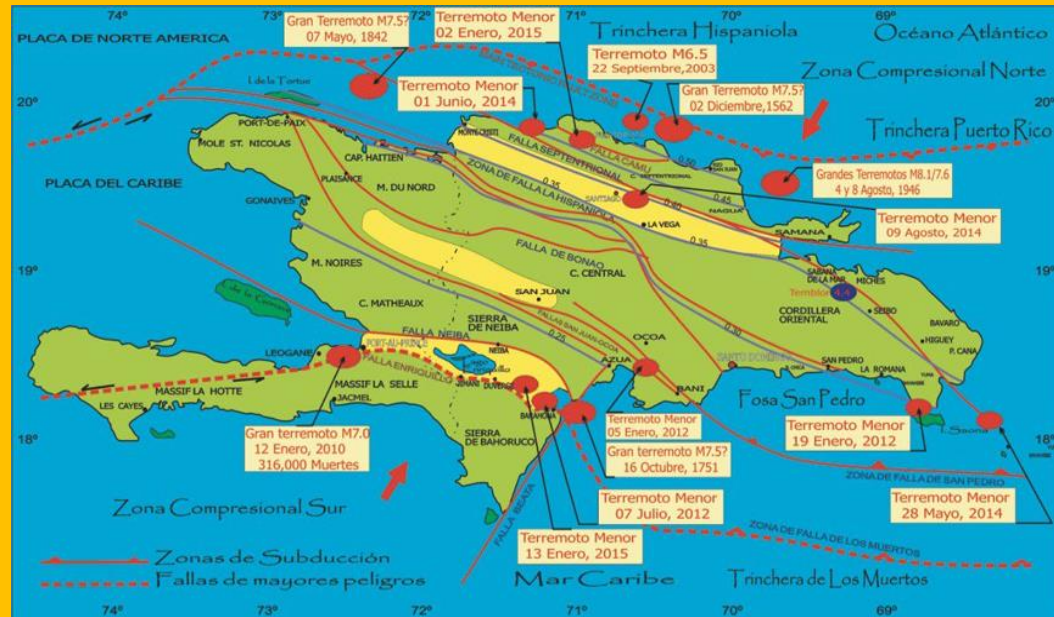
FUENTE: REGLAMENTO DOM. PARA EL ANALISIS SISMICO DE ESTRUCTURAS JUAN C. CORTÉS / CLAVE DIGITAL



Fuente: Análisis de riesgos de desastres y vulnerabilidades en la República Dominicana Natalia Gómez de Travesedo, Paola Saenz Ramirez (2009)



Sismos históricos de República Dominicana (BID, MEPYD, DGOIT).
Informe sobre amenazas y riesgos naturales en república Dominicana



Principales Fallas Sísmicas de La Isla Hispaniola y Principales Terremotos Ocurredos desde 1562 (R. Osiris de León, 2016)

Tabla: Terremotos Catastróficos en la República Dominicana (1552-1946) Fuentes:
 Ing. Héctor Iñiguez (1985) y Prof. Osiris de León.

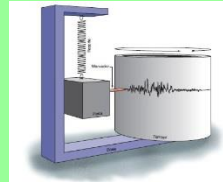
Año	Lugar	Descripción de daños disponible
1562 o 1564	Santiago La Vega Puerto Plata (región norte)	Santiago y La Vega son destruidos; Puerto Plata sufre daños.
1614	Santo Domingo	Grandes daños en la ciudad; réplicas durante 42 días.
1673	Santo Domingo	Reporte de 24 personas fallecidas y destrucción de la ciudad; réplicas durante 40 días.
1691	Azua Santo Domingo	Destrucción de Azua y graves daños registrados en la ciudad de Santo Domingo.
1751	Sur de la isla	Destrucción de Azua, ruinas en el Seibo y graves daños en Santo Domingo, Puerto Príncipe y Croix des Bouquets. También se produjo un maremoto.
1761	Sur de la isla	Destrucción de Azua, daños en Neyba y San Juan. Se sintió en la Vega, Santiago y Cotui.
1783	Santiago de los Caballeros (región norte)	Sin determinar.
1842	Toda la isla	Maremoto en las costas del norte; 5000 a 6000 fallecidos en Haití; destrucción de Santiago de los Caballeros, Cabo Haitiano, Port de Paix, y Mole de San Nicolás, Destrucción de muchos edificios en Santo Domingo. El maremoto inundó Monte Cristi y Cabo Manzanillo, logrando extender sus daños hasta la zona de Samaná.
1897		Santiago, Guayubin, Guanábano-abajo, Altamira, Navarrete, catedral y Palacio de Gobierno en ruinas.
1887	Costa Noroeste de la isla	Grandes daños en Mole de San Nicolás.
1946	Nordeste del país	Devastador terremoto con epicentro en la Bahía Escocesa de la República Dominicana con intensidad 8.1 en la escala Richter. Se sintió en todo el país donde causó daños estructurales en Puerto Plata, San Francisco de Macorís, Salcedo, Moca, La Vega, Santiago, San Pedro de Macorís, Monte Plata y Santo Domingo. Las réplicas del 8 de agosto y del 21 de agosto fueron tan fuertes como el sismo provocando un pánico general. En un año se registraron cerca de 1200 réplicas de este terremoto. Produjo un tsunami en la provincia de Nagu que borró la población pesquera de Matancitas.
2003	Puerto Plata y Santiago	Sismo de magnitud 6.5 en la escala de Richter. Las áreas de mayor impacto se localizaron hacia el oeste de la ciudad (Los Domínguez, Área Colonial, y San Marcos Abajo) donde varios ríos intermitentes fueron depositando sus aguas y sedimentos. Estas áreas ocupan las zonas topográficas mas bajas de la ciudad con lo que gran parte de las edificaciones reposaban sobre sedimentos aluvionales y suelos orgánicos compresibles. Se produjeron importantes daños en estructuras, pavimentos, líneas de servicios vitales y deslizamientos en taludes de cañadas y vías. Se reportaron 3 fallecidos y 30 heridos de diversa consideración, además de numerosos daños en infraestructura.

Características del movimiento sísmico

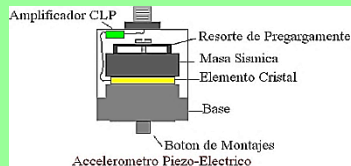
La vibración que se produce en el terreno como consecuencia de un sismo es aleatoria, es decir que **no presenta un patrón regular** constante en el tiempo.

Para monitorear este fenómeno se usa:

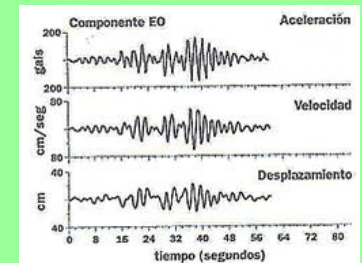
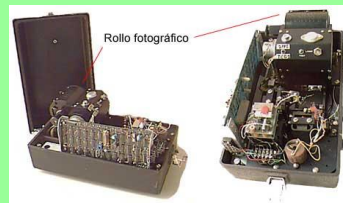
El **sismógrafo**, es el instrumento **usado para registrar** el patrón de **movimiento de un terreno** de un sismo particular **en función del tiempo**



El **acelerómetro** se usa para **medir la variación de la velocidad del terreno** por un movimiento sísmico **en función del tiempo**. (vibración)



El **acelerógrafo** registra en unos gráficos en formas de ondas (acelerograma) el **movimiento oscilatorio en función del tiempo**.



Las principales características del movimiento sísmico son la **duración**, la **frecuencia** y la **amplitud**.

- a) La **duración** se refiere al tiempo que dura la vibración del terreno.
- b) La **frecuencia** se refiere al número de ciclos de oscilación del movimiento por unidad de tiempo.
- c) La **amplitud** se define por el desplazamiento, la velocidad o la aceleración del terreno.

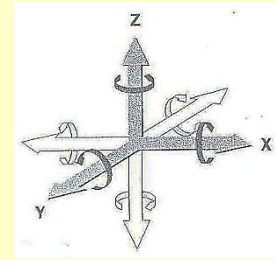
La **frecuencia y la amplitud de la vibración** en la superficie con relación a la que se produce en la roca, **puede variar** (crecer o decrecer) de un lugar a otro **de acuerdo con las características de las capas de suelo** que la vibración tenga que atravesar hasta llegar a la superficie libre.



Las vibraciones que llegan a la superficie del terreno serán las que afectarán al medio ambiente natural construido y a la población.

El movimiento sísmico y sus efectos generales

Para el estudio del movimiento sísmico y sus efectos, se toman como referencia los seis grados de libertad que se requieren para describir el movimiento de un objeto. Se consideran las tres componentes traslacionales que se representan como dos desplazamientos ortogonales horizontales (**X** e **Y**) y uno vertical (**Z**); y tres componentes rotacionales que giran alrededor de cada uno de estos ejes ortogonales.



Las fuerzas que deben resistir los edificios

Inercia se define como la tendencia de los cuerpos a mantener el estado de reposo o de movimiento en el que se encuentran.

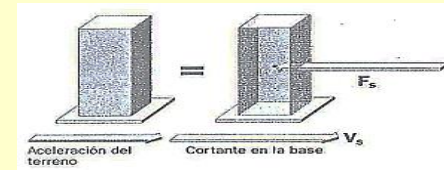
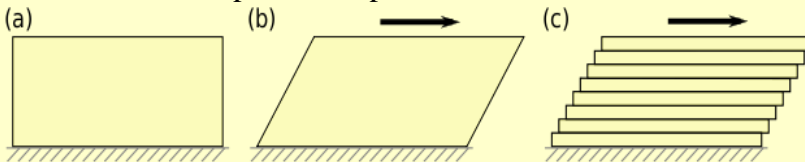
Una fuerza es una acción capaz de deformar o de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo que tiene una masa.

La masa es la cantidad de materia contenida en un cuerpo y la medida cuantitativa de la resistencia que opone dicho cuerpo a una aceleración.

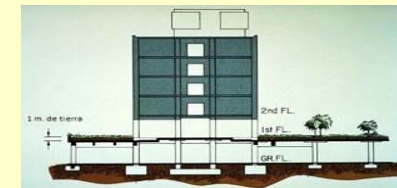
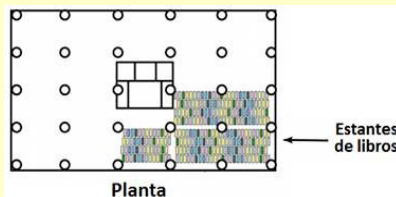
La fuerza inercial es la reacción que opone el cuerpo al cambiar de estado, o la dirección, o el sentido de su movimiento ante la fuerza que causa el movimiento.



La fuerza cortante en la base o cortante basal (V_s), es la fuerza inercial horizontal que se genera en la base del edificio como reacción a la aceleración del terreno producida por un movimiento sísmico.



La masa reactiva es la masa que afecta el comportamiento del edificio ante la vibración del terreno, e incluye, además de la masa de la estructura, la de los componentes no estructurales, el equipo y mobiliario fijado al edificio, y los acabados.



La dimensión de las fuerzas que resistirá el edificio sin sufrir daños importantes dependerá de la relación entre sus características dinámicas, la intensidad y la duración del movimiento sísmico que lo afectará.

VER VIDEO > <https://www.youtube.com/watch?v=J557cwf2xE8>



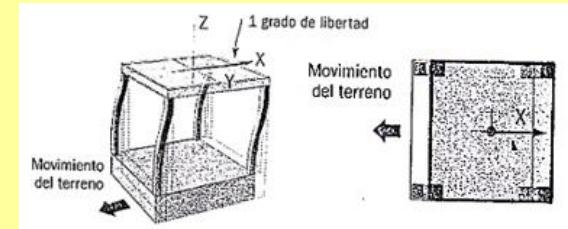
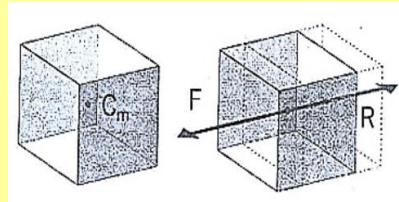
Análisis del movimiento y equilibrio del edificio

Para comprender cada edificio y buscar su respuesta ante las acciones de un sismo determinado, es **muy importante entender las posibles variaciones del movimiento, las cuales generan deformaciones** en el como un todo y en cada una de sus partes independientemente.

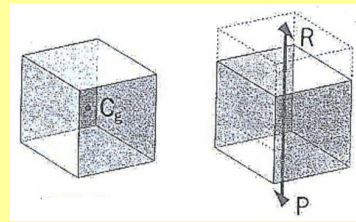
Para estudiar los movimientos de traslación y rotación de sus diversas partes se aplica la **mecánica del sólido rígido**, a través de la cual se analiza el movimiento y equilibrio de los cuerpos sólidos sin tener en cuenta su deformación.

Se determina:

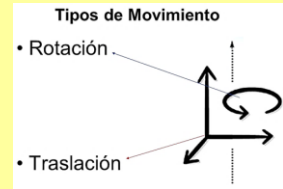
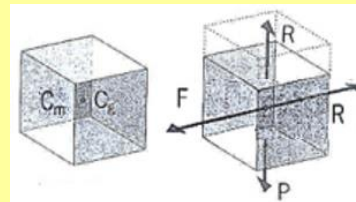
- En los cuerpos rígidos, el centro o centroide de masa (C_m) es el punto hipotético donde se asume que actúa la resultante de cualquier fuerza que se aplica a dicho cuerpo. Una fuerza que actúa a través del centro de masa (C_m) de un cuerpo rígido hace que todas las partículas se trasladen paralelamente la misma distancia y en la misma dirección de la trayectoria de la fuerza, sin que haya rotación.



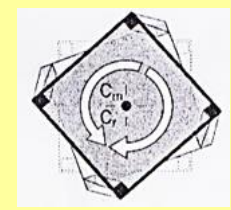
- El centro de gravedad (C_g) es un punto hipotético de un cuerpo en el cual se asume que se concentra la sumatoria total de su peso; es decir, donde se supone que actúa la reacción (R) para evitar el movimiento que se puede generar debido a las fuerzas gravitacionales que lo atraen hacia el centro de la tierra.



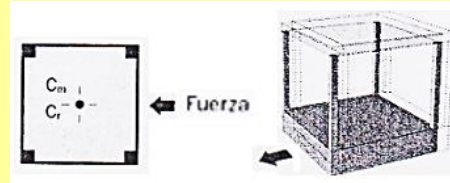
- El C_m y el C_g coinciden cuando se trata de un cuerpo rígido en un campo gravitatorio uniforme, es decir, cuando la aceleración es constante. Representa un punto único en un cuerpo o sistema, en el cual actúa la resultante de cualquier fuerza aplicada a dicho cuerpo y su reacción a las fuerzas y momentos externos.



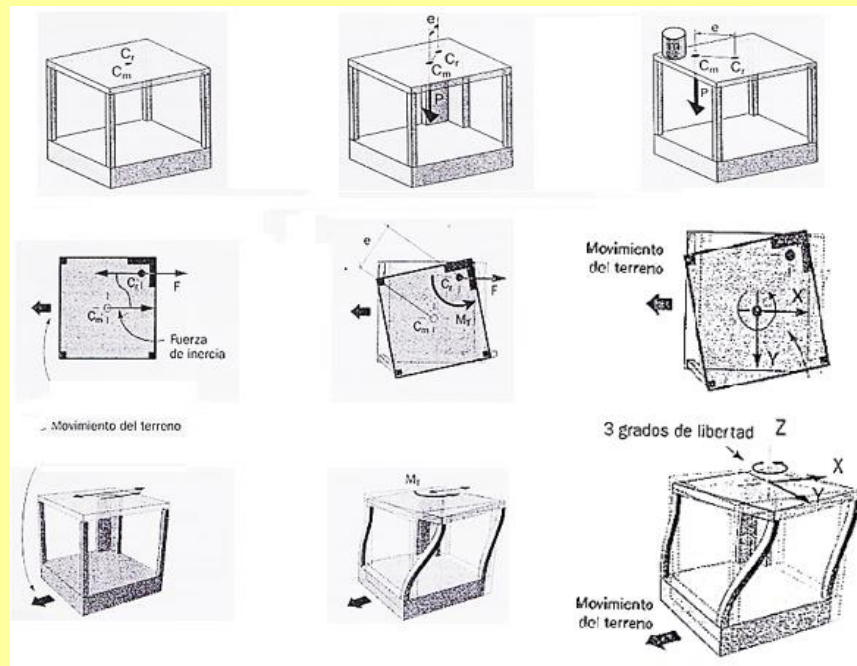
Análisis del movimiento y equilibrio del edificio



- Una **rotación** en el plano representa el giro del plano en torno a un punto fijo, llamado **centro de rotación**, que puede estar o no fuera de la figura.
- El **centro de rigidez** (C_r) de un cuerpo, es el punto hipotético donde se concentra la resultante de las fuerzas de reacción a las fuerzas que se le aplican a dicho cuerpo. También se conoce como **centro de resistencia**.
- Si el cuerpo tiene una distribución homogénea de su rigidez, el C_m y el C_r coincidirán en el mismo lugar y, al aplicarle una fuerza, la reacción actuará en el mismo punto; Si la reacción es menor que la fuerza aplicada, el cuerpo tenderá a desplazarse en la misma dirección y sentido de dicha fuerza, pero no rotará.

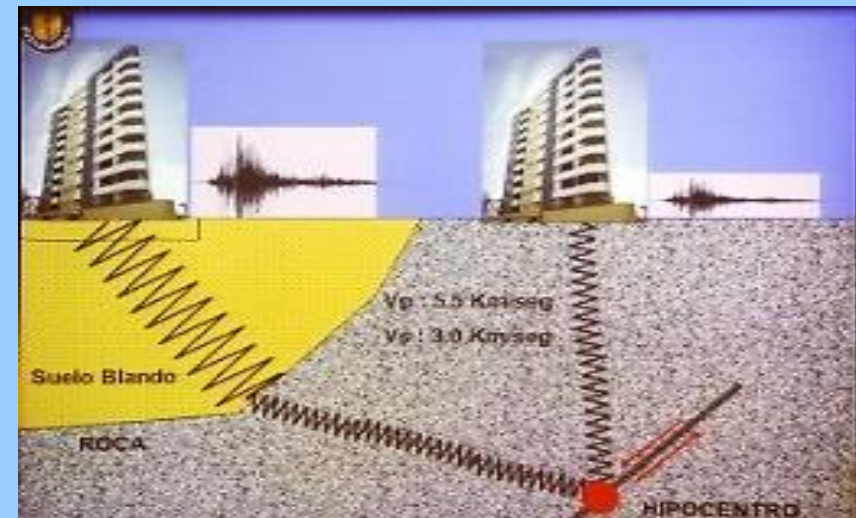
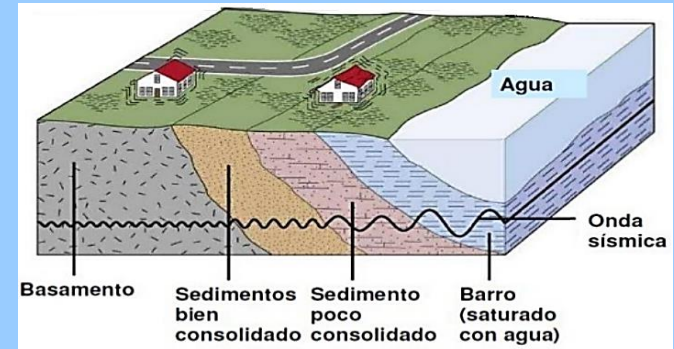
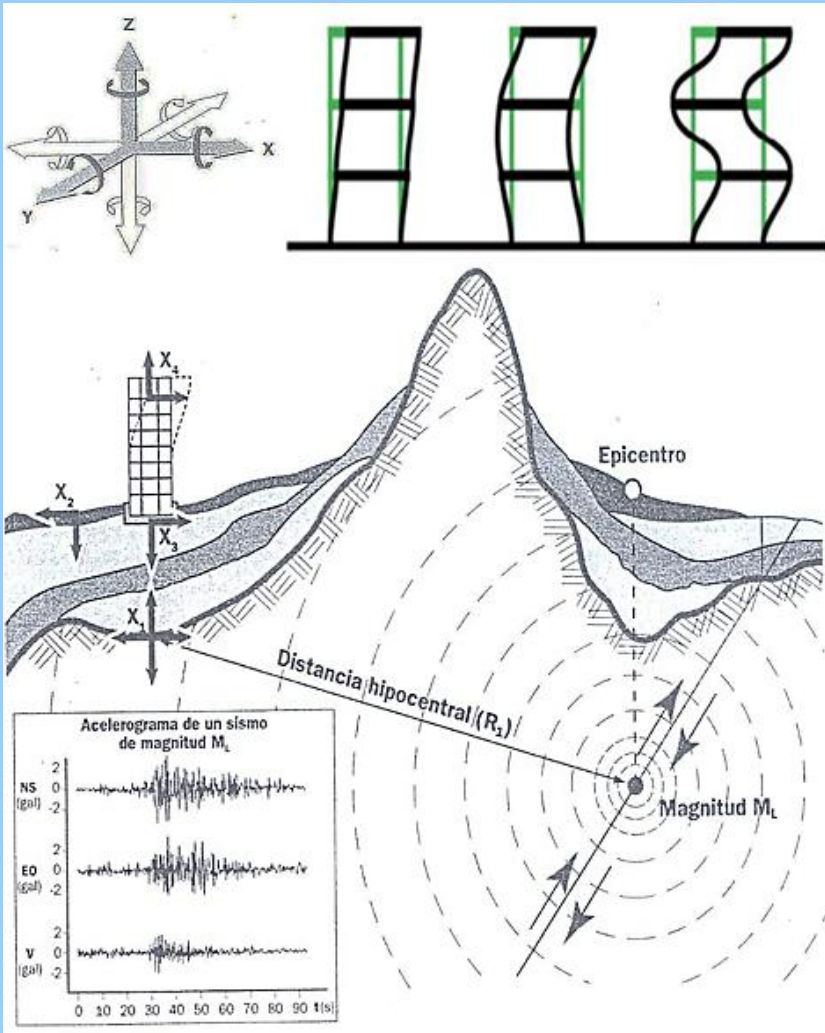


- Cuando en un cuerpo existe un **desequilibrio en la distribución de la masa o de la rigidez**, se produce el **desplazamiento relativo entre su C_r y su C_m** , generándose un **brazo de palanca, conocido como excentricidad (e)**. Al aplicarle una fuerza, esta actuará en el C_m y **girará alrededor del C_r produciéndose un momento torsor**. Se considera que un cuerpo es **excéntrico** cuando al aplicarse una fuerza, gira alrededor de un punto que no es su centro geométrico.



Los efectos del movimiento sísmico en los edificios

La vibración del terreno que se produce cuando ocurre un sismo, se transmite a la base de los edificios que están asentados sobre él, en algunos casos solamente a través de su cimentación, y en otros a través de las paredes del sótano **que están en contacto con el terreno**. Cada una de las partes del edificio reaccionará en momentos diferentes y de una manera diferente a cada uno de los componentes del movimiento sísmico aplicado a su base. Se generan desplazamientos y rotaciones en cada una de ellas, que producen no sólo variaciones con respecto a su posición y forma, sino **deformaciones en el edificio** como un todo.

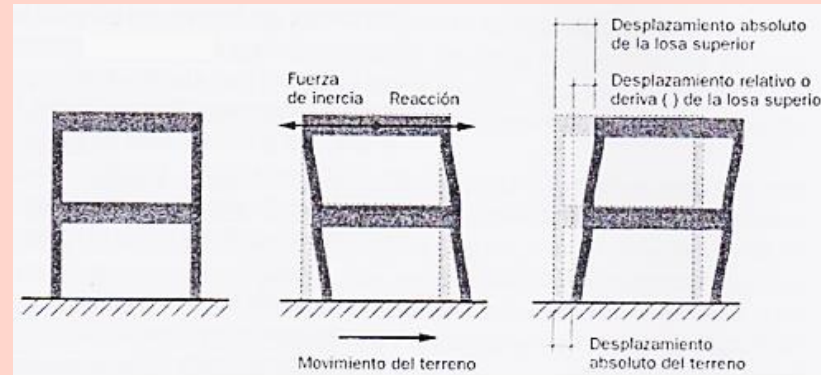


Un edificio fundado en suelo blando tiene un mayor daño sísmico que otro construido sobre otra superficie. Esto se debe a que los suelos blandos amplifican las ondas sísmicas aumentando el movimiento y por lo tanto, los daños en las construcciones.

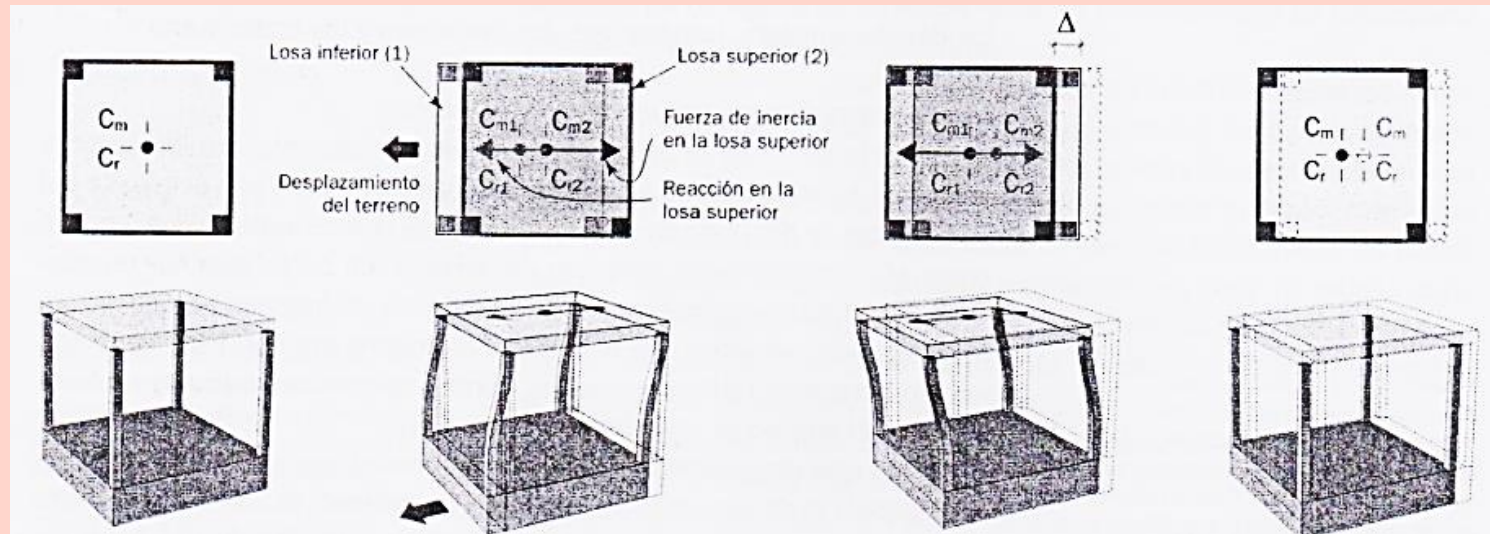
Desplazamiento del terreno debido al movimiento sísmico

En los desplazamientos horizontales debido al movimiento sísmico, el terreno se desplaza horizontalmente y con él la base del edificio, que se desplaza de su posición original una distancia que se conoce como el **desplazamiento absoluto del terreno**.

La parte superior reacciona a las fuerzas de inercia y cada uno de los diafragmas (pisos) se desplazarán una distancia adicional con relación al diafragma inferior. Este desplazamiento horizontal entre dos puntos colocados en la misma línea vertical del edificio se conoce como deriva (Δ).



Cuando el terreno deja de moverse, la parte superior oscilará horizontalmente de un lado a otro de acuerdo con el período de vibración de la estructura, hasta recobrar su posición de reposo. En este proceso, las columnas sufrirán desplazamientos horizontales diferenciales y se deformarán. Cuando el terreno regrese en sentido contrario, se repetirá este proceso.

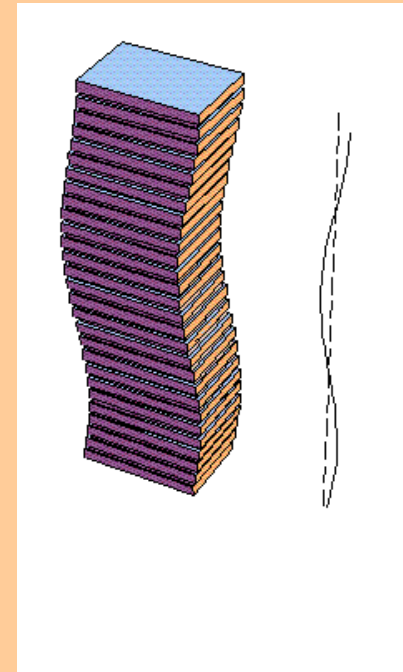
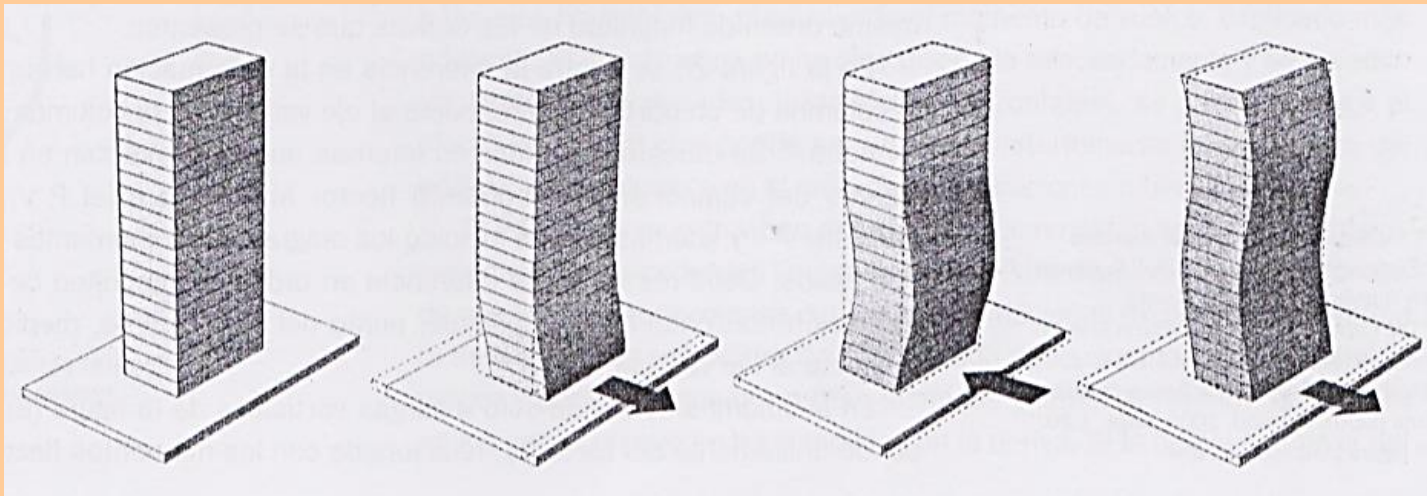


Desplazamientos horizontales del edificio

En el caso de **edificios de más de un piso**, cuando la base se mueve con el terreno, cada uno de los pisos superiores se comenzarán a mover **de manera y en tiempos diferentes**, tratando de recuperar su posición original sobre el piso inferior. Mientras tanto, el terreno ha comenzado a moverse nuevamente en la misma dirección pero en sentido contrario produciéndose nuevos desplazamientos horizontales diferenciales de los pisos superiores, en el sentido contrario.

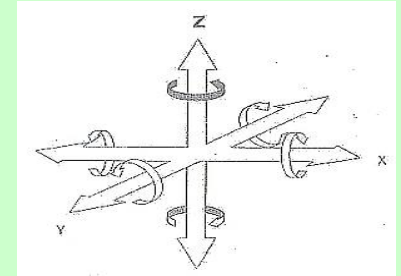
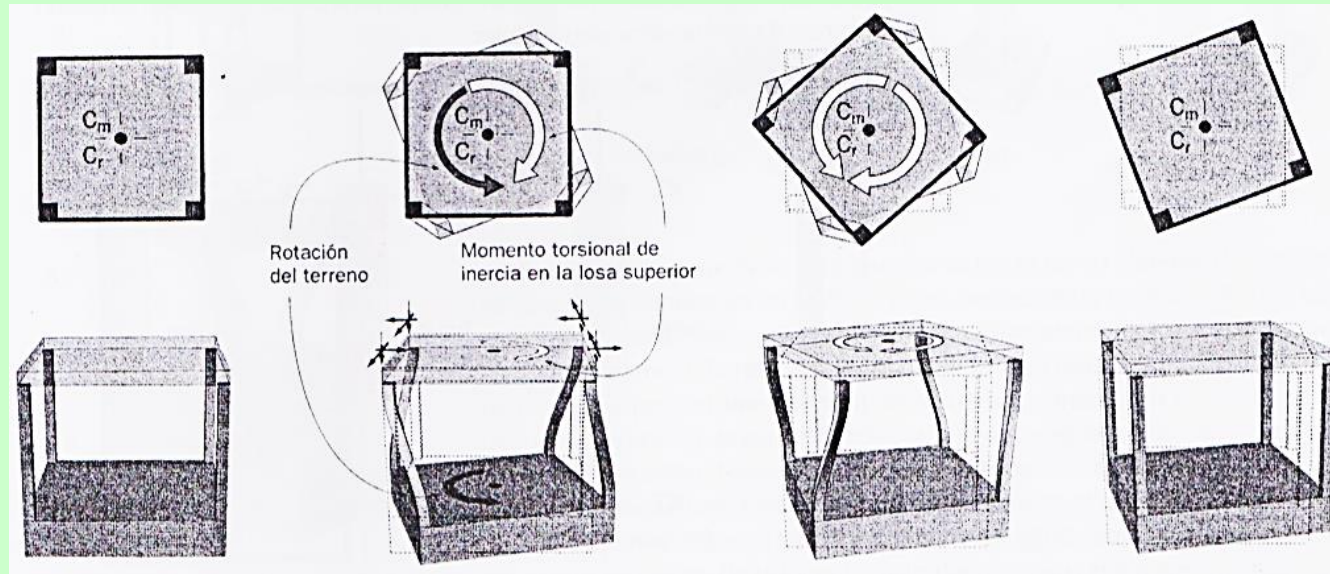
Estos nuevos **desplazamientos** a su vez **producirán** otras **deflexiones laterales** que la estructura **tendrá que resistir**.

Aunque el edificio tuviera suficiente capacidad de tenacidad para no colapsar y pudiera resistir estos desplazamientos, elásticamente sufrirá daños.

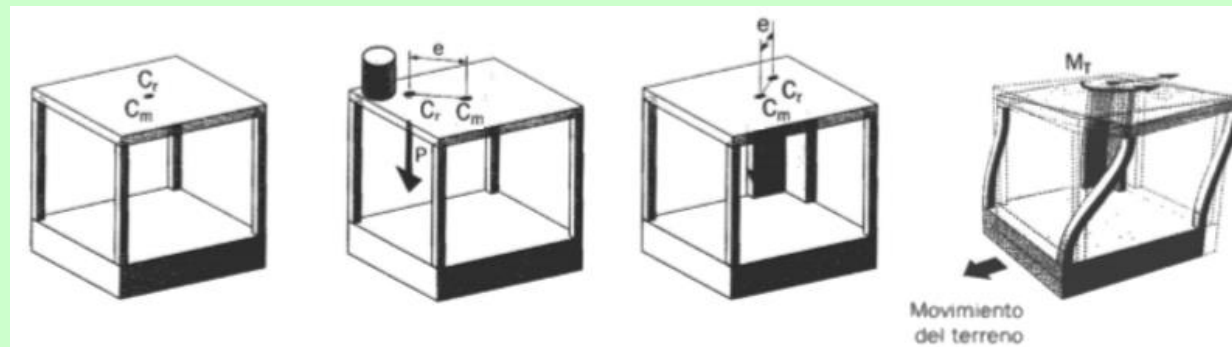


Efectos de la rotación del terreno en los edificios

Las rotaciones que se generan en el terreno cuando se produce un movimiento sísmico, se transmiten al edificio a través de su base y pueden producir efectos en el mismo, pero no ha sido posible registrarlas con los instrumentos disponibles hasta el presente. Los acelerógrafos sólo registran los desplazamientos del terreno.



Las rotaciones que se consideran más importantes son las que se producen debido a la distribución irregular de la masa y rigidez del edificio.

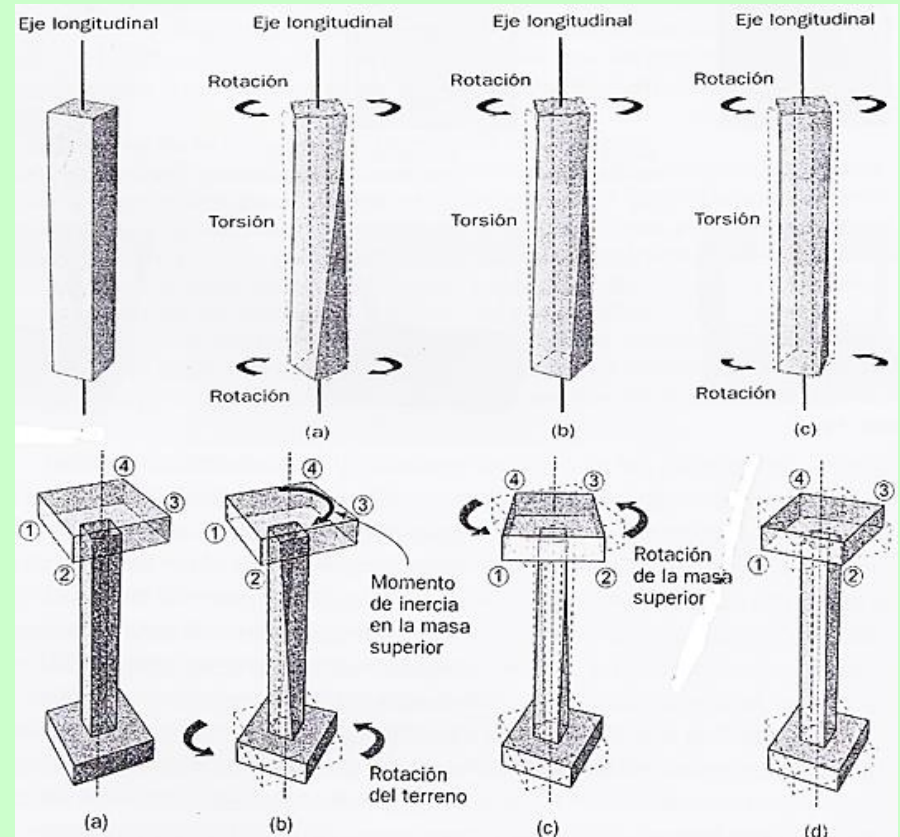
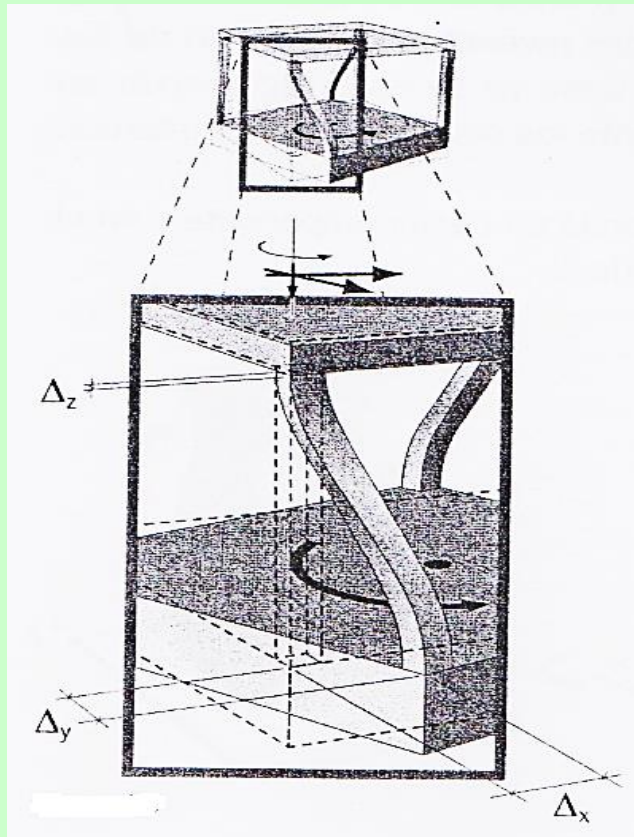


Efectos de la rotación en losas y columnas en los edificios

Cuando el terreno rota, la losa inferior del edificio rota con el, produciendo desplazamientos horizontales y rotación en el extremo inferior de las columnas, generando desplazamientos diferenciales y torsión en ellas.

En este proceso, los extremos de las columnas sufrirán desplazamientos horizontales diferenciales y se deformarán; En el extremo superior de las columnas, además, se generarían también desplazamientos verticales y pequeñas rotaciones diferenciales alrededor del centro de rigidez de la losa, con relación a la parte inferior de las columnas, lo cual conduce a pequeñas torsiones en dichos elementos.

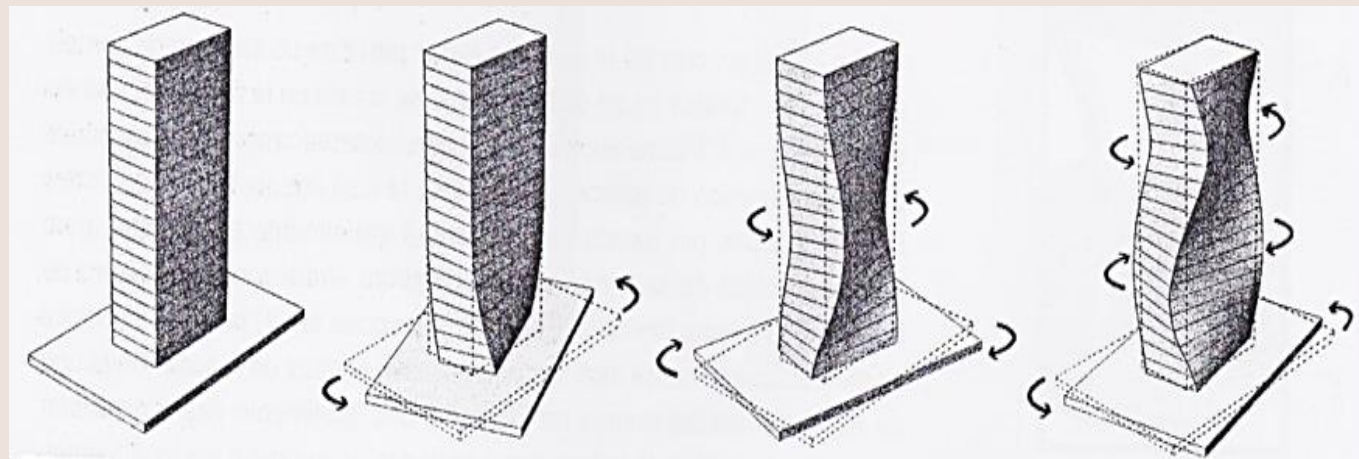
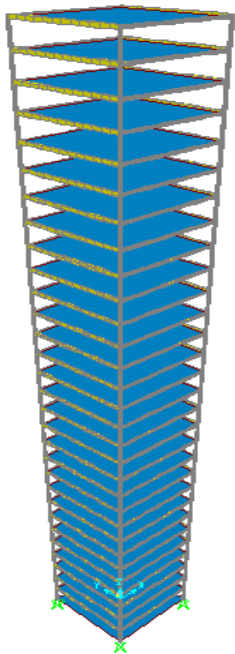
Si el terreno dejara de moverse, la parte superior de la columna rotaría primero en una dirección y después en la contraria hasta recobrar o exceder su posición original. Sin embargo, debido al carácter reversible del movimiento rotacional del terreno, **mientras dura el sismo la base rotará con el terreno en un sentido y en el contrario la parte superior le seguirá, generando nuevas fuerzas de inercias y momentos diferenciales.**



Los efectos de la rotación en los edificios

Cuando se produce la rotación en los edificios de varios pisos, las deformaciones no ocurren, simultáneamente en cada uno de ellos (los pisos), sino en que a medida que se va produciendo la rotación de la base, en cada losa de piso, de abajo hacia arriba, va persiguiendo a la inferior y rotando a su manera de acuerdo con sus propiedades dinámicas, produciendo deformaciones en las columnas que unen las losas y el edificio en general.

Mientras las losas superiores están rotando para recuperar su posición relativa original con las de abajo, debido al carácter reversible del sentido de las componentes del movimiento sísmico, la base ya se está regresando en sentido contrario con el terreno y nuevamente los pisos superiores intentan regresar persiguiendo a su nivel inferior.



Las vibración del edificio

<https://www.youtube.com/watch?v=k5yTVHr6V14>

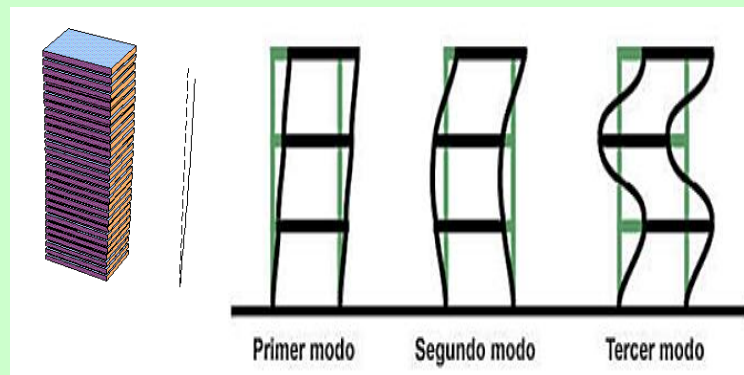
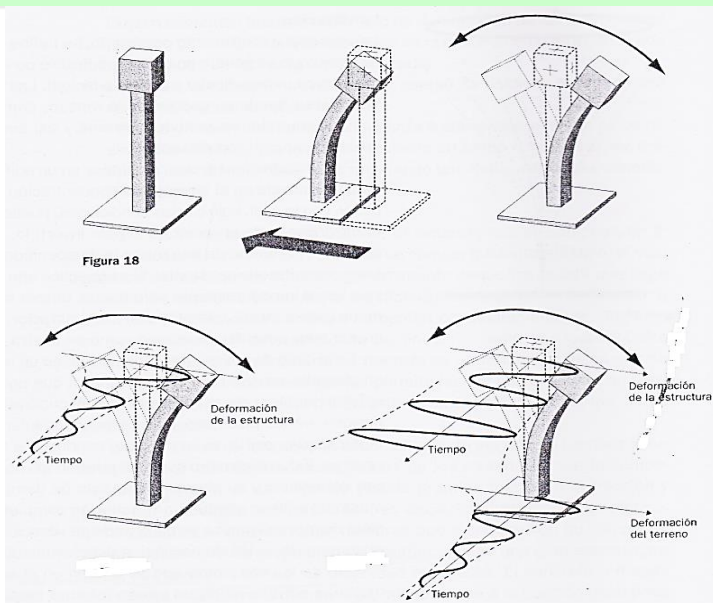
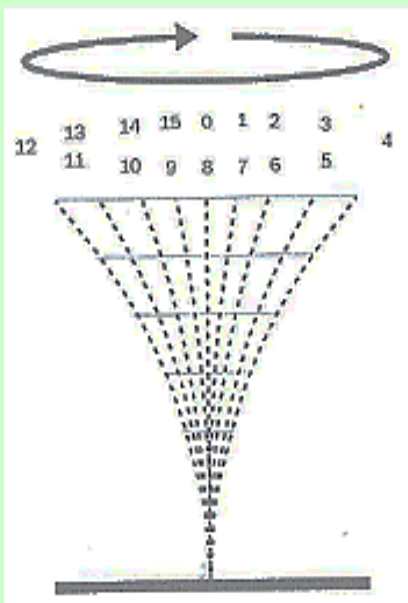
La vibración o movimiento oscilatorio se define como el desplazamiento alternativo que se genera en un cuerpo flexible con una base fija al aplicársele una fuerza perpendicular a su eje principal. Las diversas partes del cuerpo se mueven desde su condición de reposo, primero en un sentido, y luego como respuesta, en sentido contrario y así sucesivamente hasta que se regresan a su posición de reposo.

En el caso de edificios de varios pisos, en un mismo intervalo de tiempo (T), un piso alto recorre una distancia mayor que uno bajo. Si la aceleración es igual al desplazamiento por el tiempo al cuadrado, las aceleraciones serán mayores en los pisos superiores que en los inferiores. Estas aceleraciones, multiplicadas por la masa del piso, conducen a fuerzas mayores en los pisos superiores. ($F = m \times a$)

El intervalo de tiempo para que una masa del edificio efectué una oscilación completa se llama periodo de vibración T. La frecuencia se refiere al número de ciclos de oscilación del movimiento por unidad de tiempo.

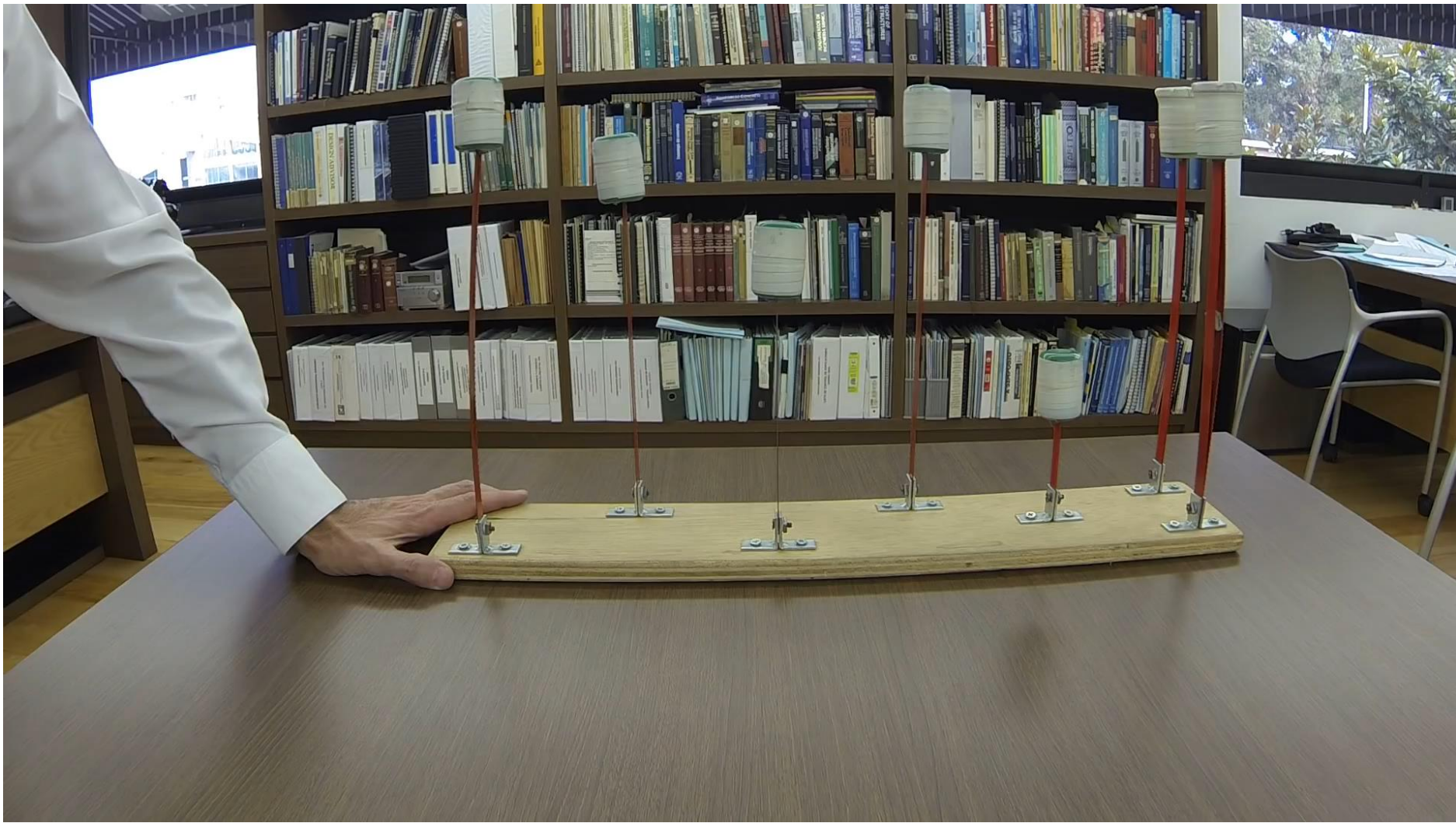
La capacidad que poseen los componentes de un edificio para soportar grandes deformaciones inelásticas (plásticas) alternantes, sin fractura y sin pérdida apreciable de su capacidad resistente, se refiere a una propiedad física de los materiales conocida como ductilidad.

Un edificio sufrirá daños cuando sus componentes estructurales y no estructurales y todo su contenido excedan las deformaciones elásticas que son capaces de resistir cuando se produce el movimiento sísmico; El colapso ocurre cuando la energía de disipación debido a las deformaciones plásticas excede la tenacidad de la estructura, es decir, la capacidad de absorber y disipar energía. Aunque el edificio regrese a su posición original, el daño ha sido causado por la deformación inelástica



Modo de vibración de un edificio

VER VIDEO > <https://www.youtube.com/watch?v=ndoLaD68s5Q>

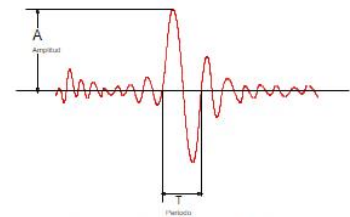


La vibración del edificio y el fenómeno de resonancia

Las edificaciones entran en resonancia durante un evento sísmico para uno de sus modos de vibración cuando el período de vibración del suelo coincide con el período de ese modo de vibración de la edificación

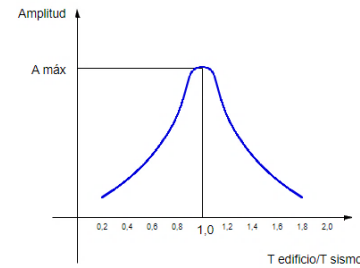
La resonancia de una estructura: es el aumento en la amplitud del movimiento de un sistema debido a la aplicación de una fuerza pequeña en fase con el movimiento, es decir, estamos ante la presencia de un fenómeno mecánico que se origina cuando la vibración natural de una estructura es sometida a un periodo de vibración externa a la misma frecuencia de la vibración natural de dicha estructura de forma repetida, haciendo que la amplitud del sistema oscilante o movimiento propio de la estructura se haga muy grande.

Estar en fase: Encontrarse ciertos elementos en el mismo momento de un ciclo o periodo.

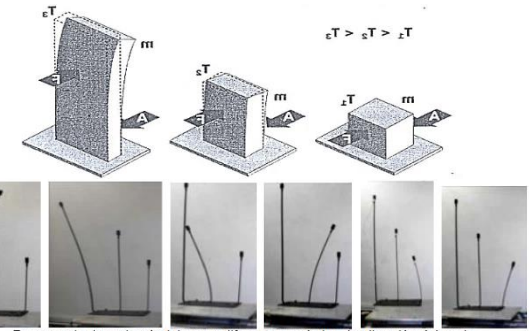


Amplitud y Período del movimiento sísmico

Resonancia: La respuesta dinámica de una edificación durante un sismo depende de la relación entre el período de vibración de las ondas sísmicas y su propio periodo de vibración. En la medida en que los dos periodos igualen sus valores y su relación se acerque a la unidad la edificación entra en resonancia, aumentando significativamente las deformaciones y aceleraciones de la edificación y en consecuencia los esfuerzos en sus elementos estructurales.



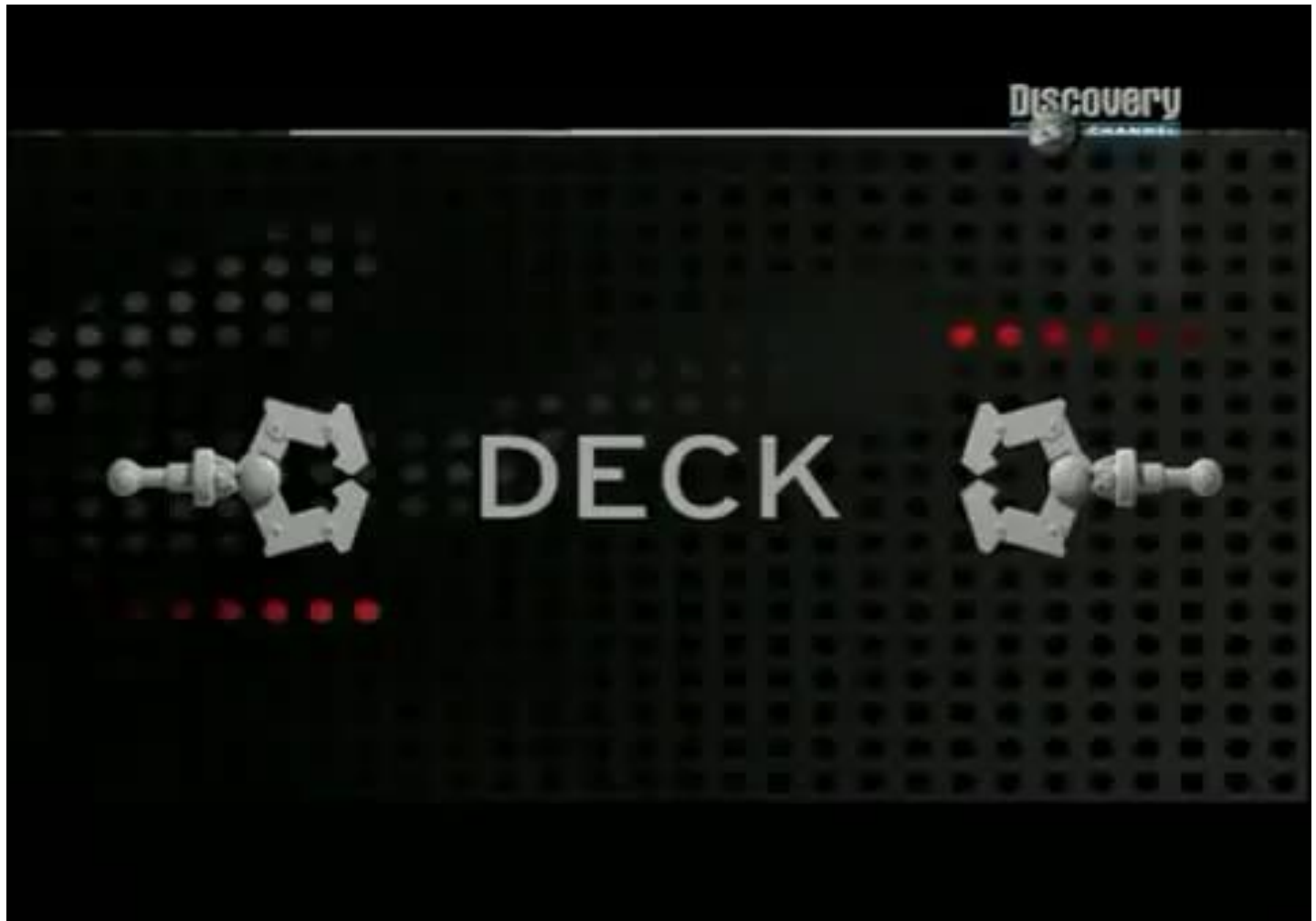
Modelo de 3 péndulos simples



Resonancia de cada péndulo para diferentes períodos de vibración del suelo

Las edificaciones de varios pisos son péndulos múltiples que pueden vibrar de diferentes modos: todas las masas a un mismo lado de la vertical o unas masas a un lado de la vertical mientras las otras masas se desplazan al otro lado de la vertical.

VER VIDEO > <https://www.youtube.com/watch?v=k5yTVHr6V14&t=7s>



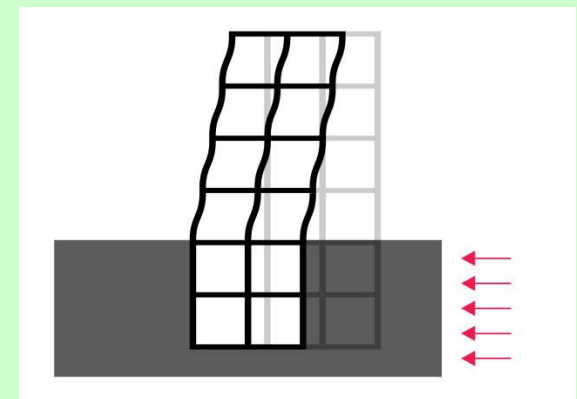
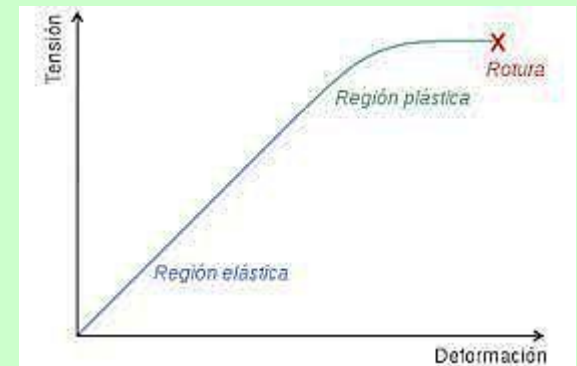
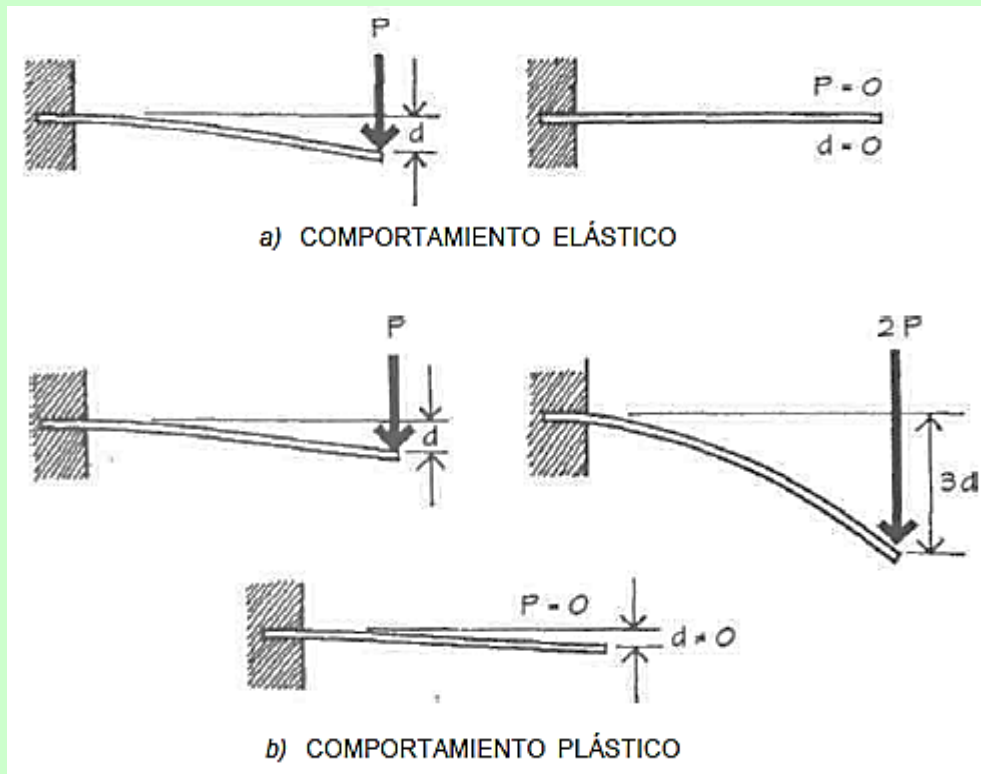
Las deformaciones

La deformación de un cuerpo consiste en la **modificación del tamaño o de la forma** natural o regular de éste **al aplicársele una o más fuerzas**. Cada cuerpo presenta cierto nivel de resistencia antes de fragmentarse de acuerdo a su capacidad física de deformación ante fuerzas externas. **Las traslaciones y las rotaciones** que genera el movimiento sísmico en las distintas partes **del edificio le producen** distintos tipos y tamaños de **deformaciones**.

La deformación depende no sólo de la **magnitud, la dirección y el sentido de la fuerza aplicada**, sino de su **configuración y de las características físicas de los materiales que lo componen**. (fortaleza, dureza, disipación de energía, tenacidad).

Existen diferentes tipos de capacidad de deformación;

- a) **Elástica o deformación reversible**: cuando el cuerpo se deforma pero recupera su forma original al retirar la fuerza.
- b) **Plástica o irreversible**: cuando el cuerpo alcanza o sobre pasa el límite de su resistencia elástica y ya no puede recuperar su forma original una vez retirada la fuerza; El material cede, originando una deformación permanente o fractura.



Deformaciones de la columna por cargas verticales y horizontales

Las deformaciones que producen los diferentes tipos de fuerzas **que deben resistir los componentes de edificios porticados varían** en su forma y magnitud, **según se trate de cargas verticales**, tales como el peso propio, la carga muerta, las cargas de acabados y las cargas vivas, o de **solicitaciones horizontales** tales como el sismo o el viento.

Las deformaciones que puede tener un pórtico ante cargas verticales (p) y ante fuerzas horizontales (f), se pueden apreciar en las formas de las deformaciones inducidas por las cargas externas **tanto de las vigas como de las columnas**, que son diferentes en cada caso. Cuando el pórtico es sometido a cargas verticales (a), los extremos de cada columna se mantienen dentro de la misma línea vertical, (b) en caso que el pórtico se someta a fuerzas horizontales, el extremo superior de cada columna tendrá su desplazamiento (Δ) correspondiente. (La deriva (Δ) es función de la rigidez de la estructura en conjunto y esta a su vez de la de sus componentes)

El fenómeno P-Delta ($P-\Delta$) es un efecto causado por la acción de las cargas verticales (P) de un edificio al verse desplazadas horizontalmente por la fuerza lateral (F). La carga (P), es igual al peso W . (Ver figura). El momento producido en la estructura será proporcional a la fuerza (P) por el desplazamiento. Por lo tanto, las masas de los componentes del edificio juegan un papel muy importante en la generación de este efecto que puede generar daños significativos.

El P-Delta ($P-\Delta$) es muy grave en estructuras que no están apropiadamente diseñadas y que exceden los límites de la deriva (Δ). Para disminuir las posibilidades de que la estructura colapse debido a deformaciones excesivas, se controla la deriva (desplazamientos horizontales), especialmente en configuraciones altas y esbeltas.

P-Delta

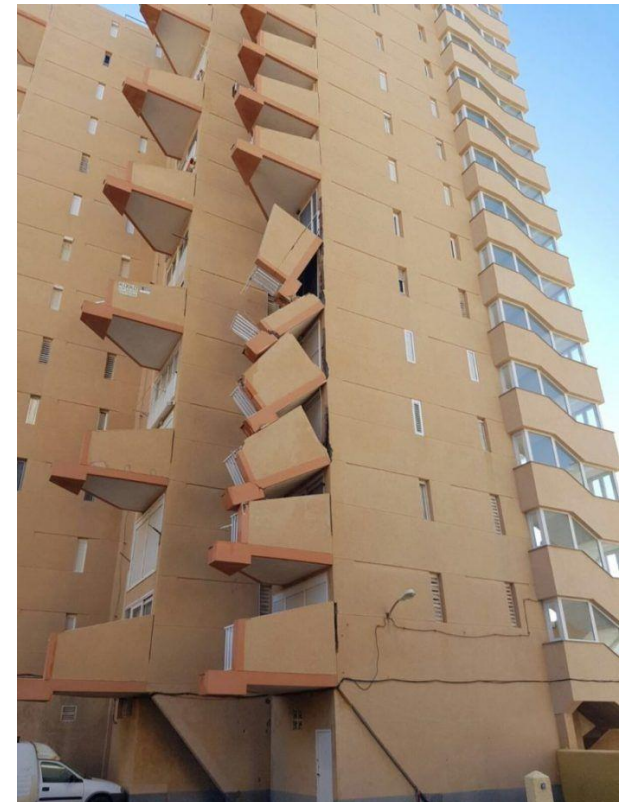
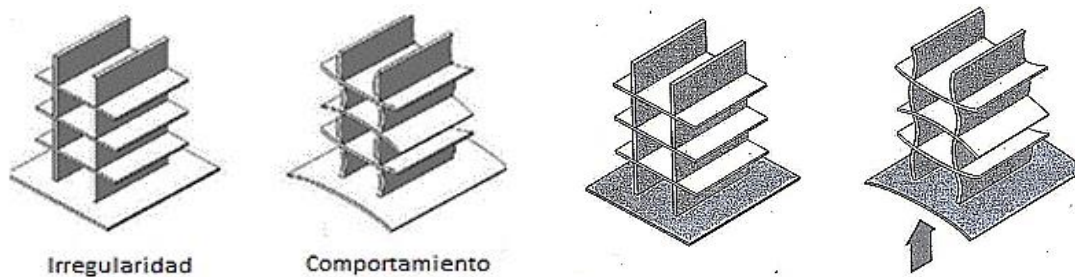
Las desviaciones horizontales de la columna con respecto a su eje vertical son mucho menores en el caso de cargas verticales que las que tiene al verse sometida a las fuerzas horizontales, en cuyo caso son del mismo orden y magnitud de las derivas (Δ) que se presenten..

Los desplazamientos verticales en los edificios

Los edificios generalmente se diseñan para resistir los efectos verticales de la fuerza de gravedad. Sin embargo, en zonas sísmicas esto no es suficiente para resistir las vibraciones producidas por un sismo; La dirección de la fuerza de gravedad tiene siempre un mismo sentido, mientras que la dirección de un movimiento vertical de las fuerzas sísmicas es de carácter reversible, por lo que aumenta o disminuye los efectos de la gravedad y puede causar deflexiones diferenciales en los diafragmas (pisos y vuelos).

Los edificios con grandes voladizos se deben analizar cuidadosamente porque **las deflexiones generadas por los componentes verticales del movimiento sísmico, sumadas a la fuerza de la gravedad, pueden causar daños significativos, especialmente en los componentes de cerramiento**, tanto exteriores como interiores, ubicados en los extremos.

Cuando debido a la fuerza de gravedad la masa del diafragma presiona hacia abajo un componente vertical, como una columna, un muro o una pared no estructural, puede hacerlo fallar por pandeo. (Ver el extremo del voladizo de un edificio con agrietamiento entre los ladrillos, en paredes no estructurales, en pisos alternados y desprendimiento de los ladrillos en el piso intermedio).



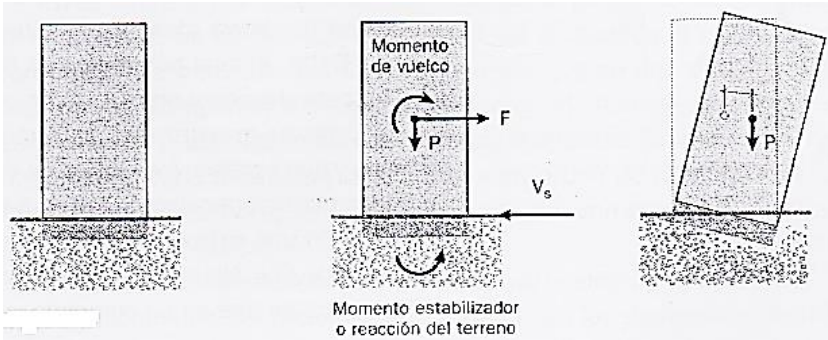
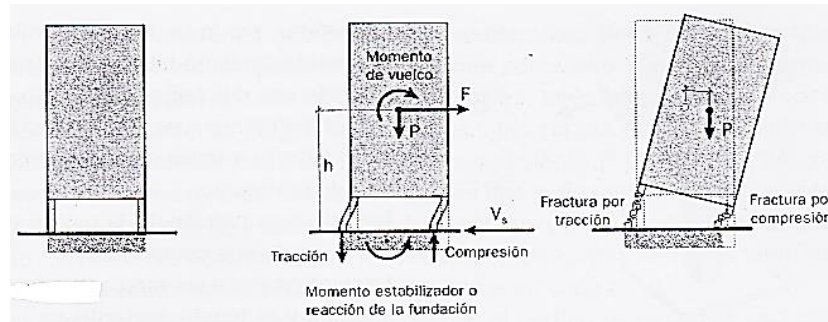
La vulnerabilidad de los edificios ante los movimientos sísmicos

La mayor parte de los daños en los edificios por efecto de vuelco se origina por fallas debido a grandes deformaciones generadas por las fuerzas horizontales en los componentes verticales del primer piso, generalmente producidas por irregularidades por piso flexible y/o por piso débil. El componente rotacional vertical del movimiento sísmico puede aumentar el momento de vuelco.

Cuando los componentes estructurales verticales son flexibles, como en el caso de los pórticos, estos momentos generan deflexiones en las columnas. Al fallar los componentes de la base o si existen irregularidades en la distribución de resistencias en el apoyo del edificio, la fuerza horizontal que se genera en el mismo lo puede hacer rotar parcial o totalmente con respecto a los ejes horizontales.

Otras razones por las cuales se pueden producir los efectos de vuelco generados por las fuerzas horizontales, son las fallas del terreno debidas a asentamientos diferenciales, licuación (pérdida de firmeza o rigidez de suelos, pocos cohesivos y saturados) u otros; Por falla física debido a la fractura de los componentes de la cimentación o por mal comportamiento del sistema suelo-cimentación-superestructura.

Los efectos de los momentos de vuelco pueden producirse no sólo en un edificio completo sino individualmente en los componentes no estructurales, tales como; paredes interiores y exteriores, equipos y mobiliario. Este efecto se produce por la falta de anclaje de seguridad que unen estos componentes con la estructura, lo cual pone en peligro la vida humana



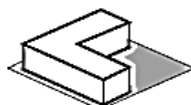
Irregularidades en las estructuras

Los problemas de configuración deben ser enfrentados desde la etapa de definición del esquema espacial del edificio y en toda la etapa de diseño.

Edificios con configuración irregular



Planta en forma de T



Planta en forma de L



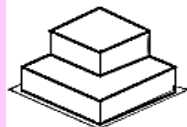
Planta en forma de U



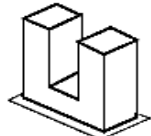
Planta en forma de cruz



Otras formas complejas



Escalonamientos



Con torres múltiples



Niveles subdivididos



Planta baja inusualmente alta

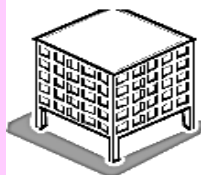


Piso inusualmente bajo

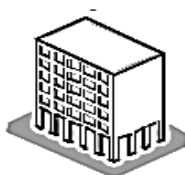


Apariencia exterior uniforme, pero con distribución de masa no uniforme o viceversa

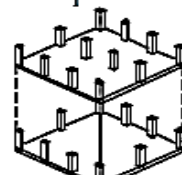
B. Edificios con cambios abruptos en su resistencia lateral



Niveles inferiores débiles



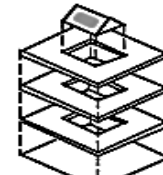
Grandes aberturas en los muros resistentes al esfuerzo cortante



Con columnas interrumpidas



Con vigas interrumpidas



Aberturas en diafragmas

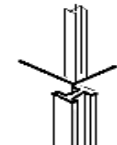
C. Edificios con cambios abruptos en su rigidez lateral



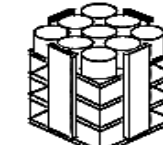
Muros resistentes al cortante en algunos pisos, muros resistentes al momento en otros



Interrupción de elementos verticales resistentes



Cambios abruptos en el tamaño de los miembros



Cambios drásticos en la relación masa/rigidez

D. Aspectos estructurales inusuales o novedosos



Estructuras soportadas por cables



Cascarones



Armaduras alternadas



Edificios sobre laderas de colinas

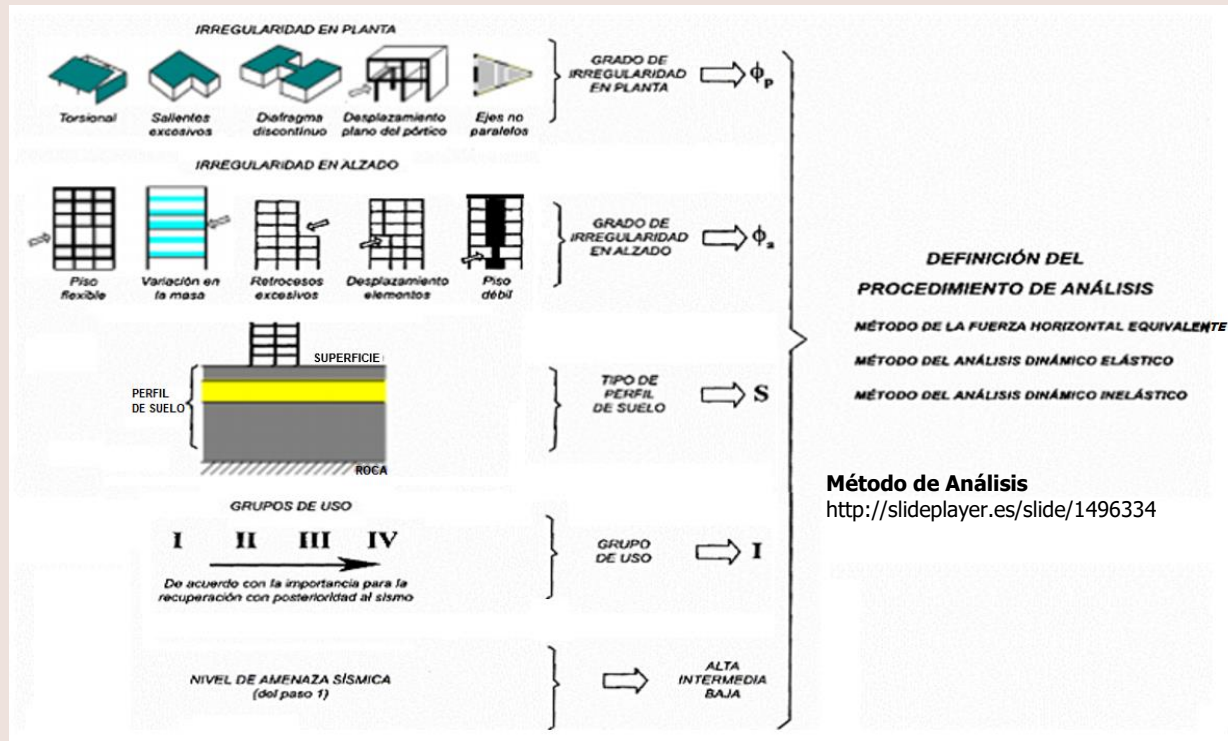
La irregularidad de la estructura

El grado de irregularidad en la configuración del edificio es uno de los factores importantes que se incluyen hoy día en la mayoría de las normas sísmicas.

Para prefigurar el comportamiento estructural de un edificio se toma en cuenta ;

- 1- el **tipo de sistema estructural** (muros de carga, sistema porticado, sistema combinado)
- 2- los **materiales estructurales** utilizados (concreto armado, acero, mampostería no reforzada, reforzada o confinada, madera)
- 3- la **disposición del material** en los componentes estructurales y sus **características mecánicas** y **capacidad de disipación de energía** (ductilidad, tenacidad y resiliencia).
- 4- el **grado de irregularidad en la configuración del edificio** identificado por su forma geométrica en planta y alzado; la distribución de la masa reactiva , la resistencia y la rigidez.

Las decisiones y responsabilidad con respecto a los tres primeros puntos dependen del diseñador estructural, **el cuarto punto depende principalmente del arquitecto**, y muchas veces las decisiones que se toman sin consultar previamente con el diseñador estructural, sobre todo en la elección de la configuración, desempeñan un papel importante en el comportamiento del edificio ante las acciones sísmicas.

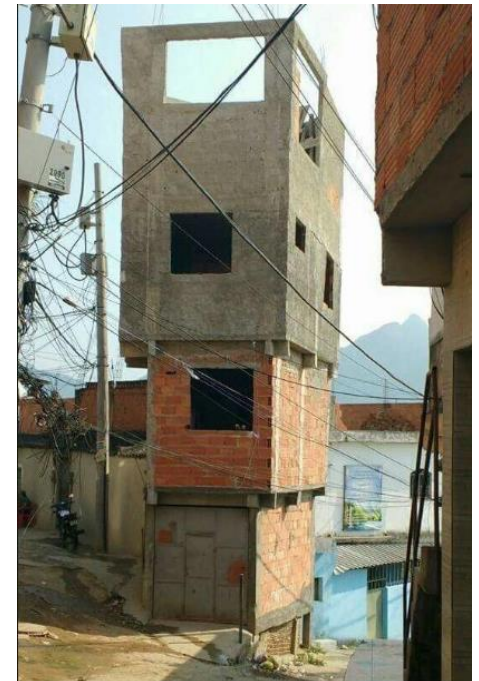
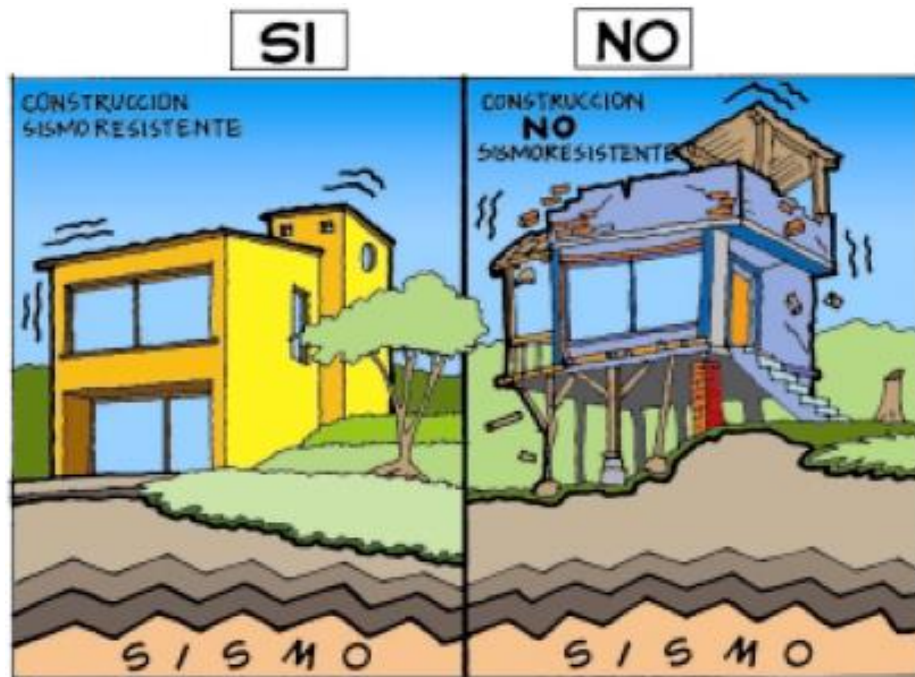


La configuración arquitectónica y estructural

Problemas de la configuración estructural

Los sitios donde se concentran los mayores esfuerzos (intensidad de una fuerza) en las estructuras son las uniones y conexiones entre elementos estructurales, por ejemplo las conexiones viga-columna, y columna-cimiento. Estas zonas deben soportar las mayores fuerzas cortantes y momentos debidos a flexión y por ello su diseño debe realizarse cuidadosamente, en especial, verificando la distribución del acero de refuerzo en los nudos, o la cantidad y tipo de soldadura a utilizar si son elementos de acero, y además, contar con una adecuada inspección durante su construcción.

Los principales problemas que se pueden presentar tienen que ver con: las altas concentraciones de masa en niveles superiores, columnas débiles, menor resistencia de columnas que vigas, pisos blandos o suaves, falta de confinamiento del concreto en columnas, falta de redundancia, flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso, la torsión entre pisos y el desplazamiento relativo entre pisos.



Las Irregularidades geométricas del edificio

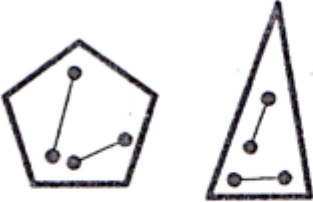


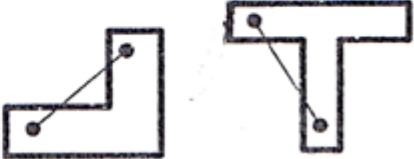
Las formas geométricas irregulares pueden inducir a una distribución irregular de la rigidez, la resistencia y la masa reactiva. Esta condición puede generar comportamientos indeseados del edificio, lo cual puede ocasionarle daños significativos y hasta el colapso.

La irregularidad geométrica en la configuración de un edificio se determina generalmente por la presencia de entrantes o retranqueos en su perímetro, tanto con relación a planos horizontales como verticales.

Estos retranqueos determinan la condición de no convexidad. Por lo tanto, la proyección sobre los planos horizontales y verticales de las formas geoméricamente irregulares está representada por polígonos

Un **polígono es convexo** si todos los segmentos que unen dos de sus puntos están completamente dentro de su perímetro.

El **polígono no convexo** es aquel en el que **no** todos los segmentos que unen un par de sus puntos interiores, están completamente dentro de la figura sin cortar su perímetro.

	No rectanguladas	Rectanguladas
Convexas	 a	 b
No convexas	 c	 d

La configuración geométrica

Problemas de configuración en planta

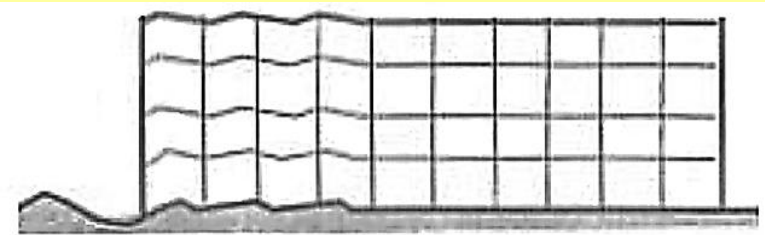
Longitud

La longitud en planta influye en su respuesta estructural. En vista que el movimiento del terreno consiste en una transmisión de ondas, la cual se da con una velocidad que depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un punto de apoyo del edificio en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida que sea mayor la longitud del edificio en la dirección de las ondas. Los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas que los edificios largos.

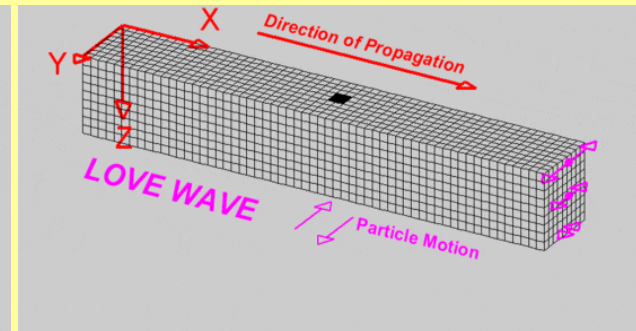
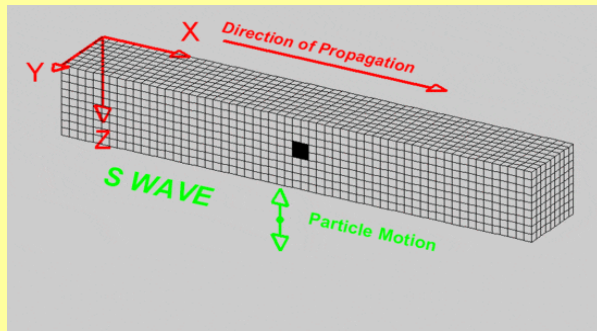
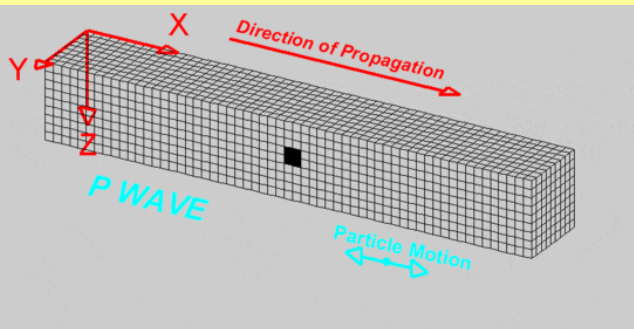
Los edificios largos son también más sensibles a las componentes torsionales de los movimientos del terreno, puesto que las diferencias de movimientos transversales y longitudinales del terreno de apoyo, de las que depende dicha rotación, son mayores.



Si la planta es muy larga, el comportamiento entre extremos es muy distinto lo que puede producir inestabilidades en la estructura



Movimiento diferente del suelo en los extremos del edificio.

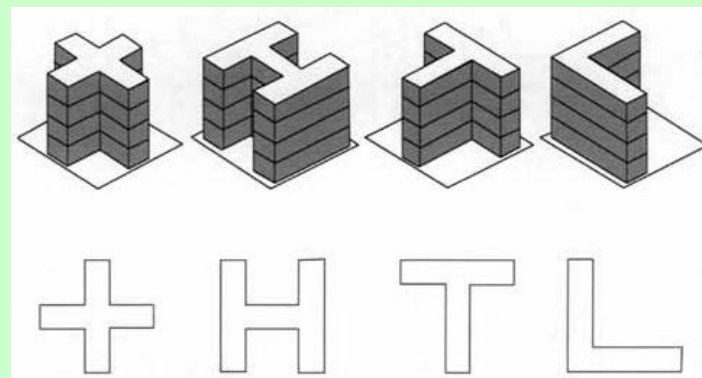
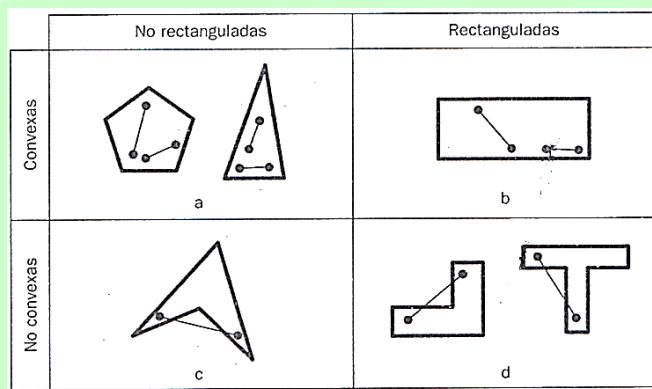


Problemas de configuración geométrica

Concentración de esfuerzos debido a plantas complejas

Se define como planta compleja (no convexa) aquella en la cual la línea de unión de dos de sus puntos suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativo orientadas en diferentes direcciones (formas en H, U, L, etc.). Este problema surge en edificios denominados de plantas complejas y es muy común en edificaciones hospitalarias.

En las plantas irregulares las alas pueden asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala. Por esta razón aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia daños en los elementos no estructurales, en la estructura vertical y aun en el diafragma (losa) de la planta.



Ministerio de Comunicaciones
luego del terremoto de Mexico, 1985.

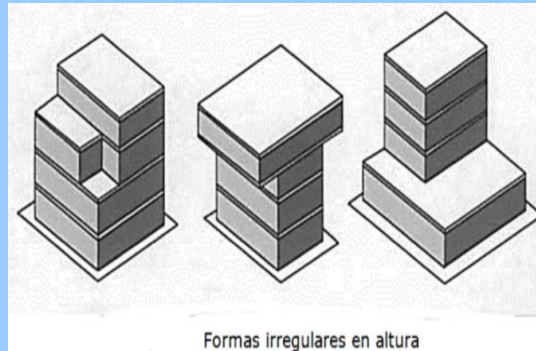


La configuración geométrica

Problemas de configuración en altura

Escalonamientos

Los escalonamientos en los volúmenes del edificio se presentan habitualmente por exigencias urbanísticas de iluminación, proporción, etc. Sin embargo, desde el punto de vista sísmico, son causa de cambios bruscos de rigidez y de masa; Por lo tanto, traen consigo la concentración de fuerzas que producen daños en los pisos aledaños a la zona del cambio brusco. En términos generales, debe buscarse que las transiciones sean lo más suave posible con el fin de evitar dicha concentración.



ELEVACIONES

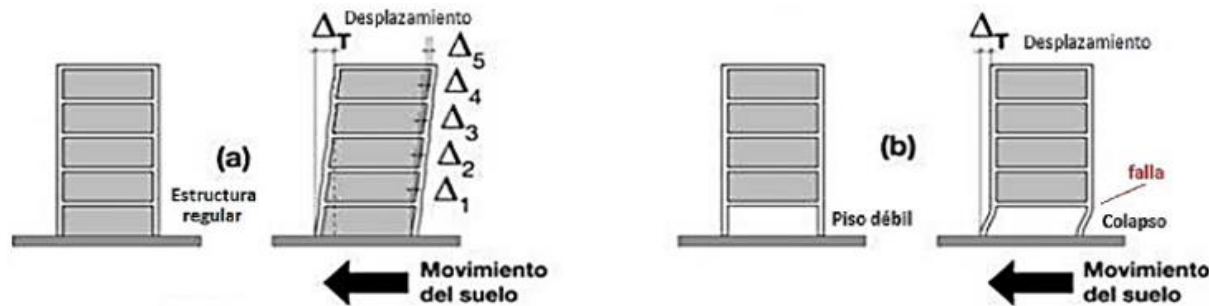
Sencillas			Complejas		

Problemas de configuración arquitectónica y estructural

Configuración geométrica: **Falla en planta baja por piso suave**

Cuando ocurre un sismo, si el edificio presenta una porción más flexible en un piso que en el resto de los pisos superiores, su deriva (Δ) será mayor y, por lo tanto, la mayoría de la energía de entrada será absorbida por esa porción más flexible y la restante será distribuida entre los pisos superiores más rígidos. Si el edificio presenta una planta libre, principalmente en algunos de los pisos inferiores, generalmente los componentes estructurales de ese piso se verán sometidos a grandes deformaciones. El comportamiento inelástico se concentra en la zona de la irregularidad.

Diferencia entre la deformación lateral de un edificio con una distribución homogénea de la rigidez en altura (a) y uno con la planta libre (b)

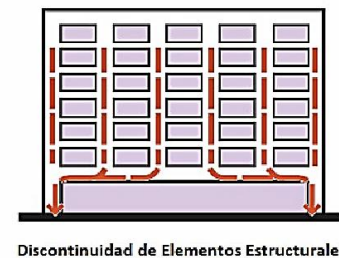
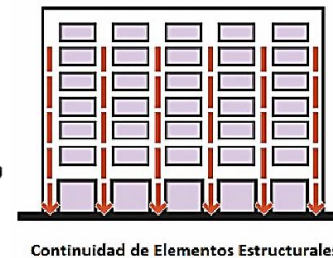
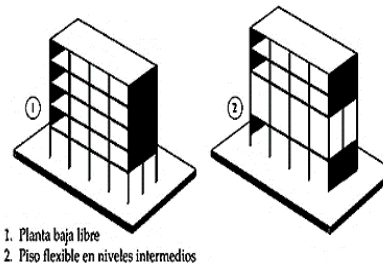


Varios tipos de esquemas arquitectónicos y estructurales conducen a la formación de los llamados Pisos débiles o suaves, es decir, pisos que son más vulnerables al daño sísmico que los restantes, debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas cosas:

La presencia de pisos suaves se puede atribuir a:

Diferencia de altura entre pisos.

Interrupción de elementos estructurales verticales en el piso.



Problemas de configuración arquitectónica y estructural

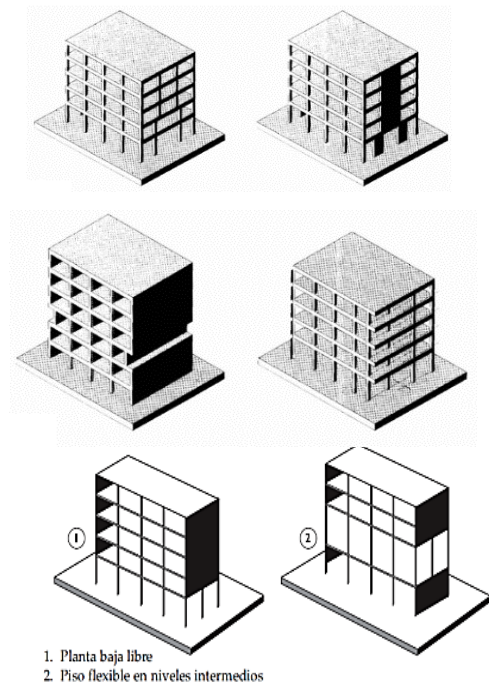
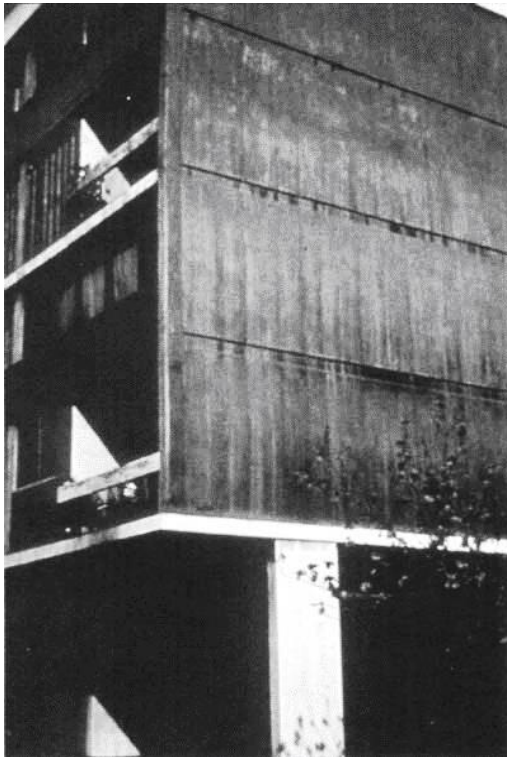
Edificios con irregularidad tipo “piso flexible”



La interrupción de elementos verticales de la estructura ha probado ser la causa de múltiples colapsos parciales o totales en edificios sometidos a sismos, sobre todo cuando la interrupción de los elementos verticales resistentes (muros y columnas) se presenta en los pisos inferiores. La razón del deslizamiento del piso recae en que el nivel en que se interrumpen los elementos es más flexible que los restantes, con lo que aumenta el problema de estabilidad, pero además porque se origina un cambio brusco de rigidez que ocasiona una mayor acumulación de energía en el piso más débil.

Los casos más usuales de interrupción de elementos verticales, que ocurre generalmente por razones espaciales, formales o estéticas, son los siguientes:

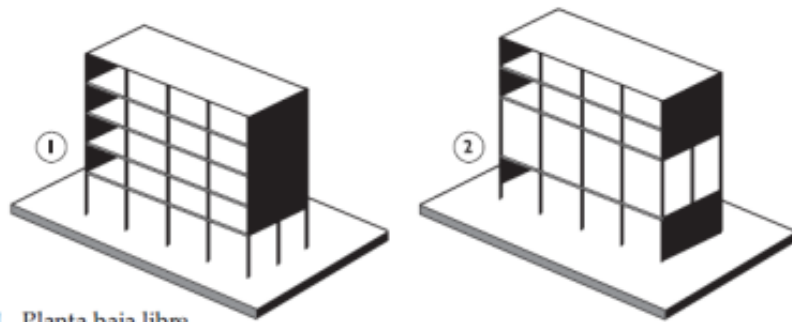
- Interrupción de las columnas.
- Interrupción de muros estructurales (muros de cortante).
- Interrupción de muros divisorios, concebidos erróneamente como no estructurales, alineados con pórticos.



Interrupción de muro estructural en la planta baja. Colapso estructural debido a la discontinuidad de elementos verticales

La configuración geométrica

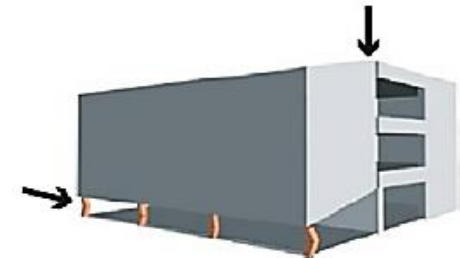
Edificios con irregularidad tipo “piso flexible” y sus comportamientos ante el movimiento del terreno



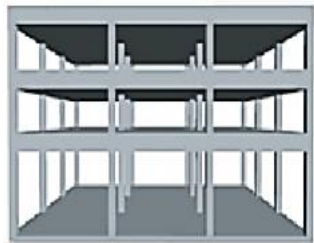
1. Planta baja libre
2. Piso flexible en niveles intermedios



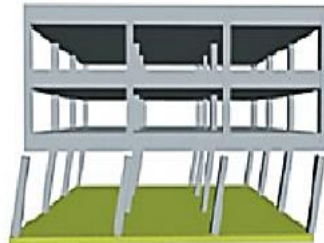
Irregularidad



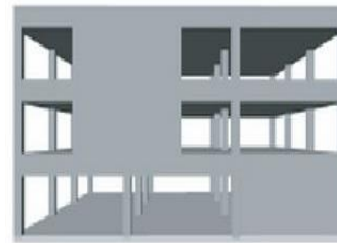
Comportamiento



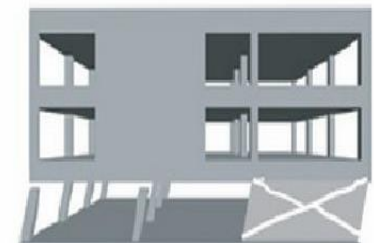
Irregularidad



Comportamiento



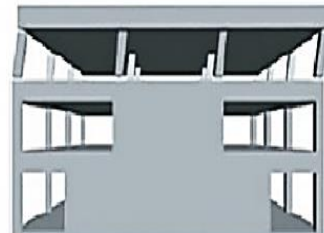
Irregularidad



Comportamiento



Irregularidad



Comportamiento



Irregularidad



Comportamiento

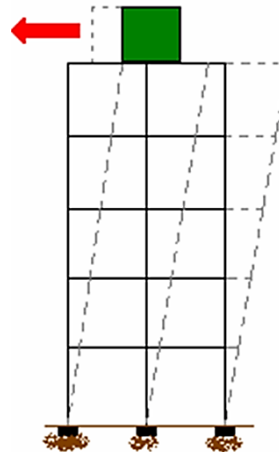
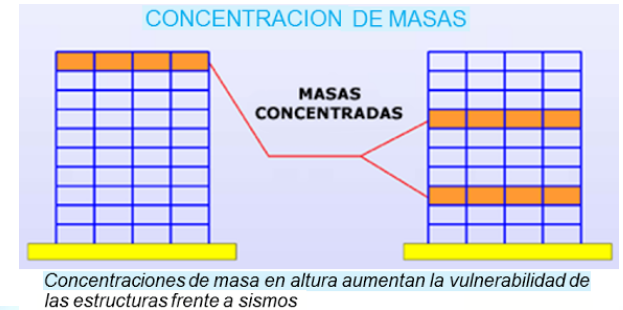
Problemas de configuración arquitectónica y estructural

Concentraciones de masa

El problema es ocasionado por altas concentraciones de la masa en algún nivel determinado del edificio que se puede deber a la disposición en él de elementos pesados, tales como equipos, tanques, bodegas, archivos, jardines, etc.

El problema es mayor en la medida en que dicho nivel pesado se ubica a mayor altura, debido a que las aceleraciones sísmicas de respuesta aumentan también hacia arriba, con lo cual se tiene una mayor fuerza sísmica de respuesta allí y por ende una mayor posibilidad de volcamiento del equipo.

Por lo anterior, en el diseño arquitectónico es recomendable disponer los espacios que representen pesos inusuales en sótanos o en construcciones aisladas aledañas al cuerpo principal del edificio. En casos en los que por razones topográficas se deba tener almacenamientos de agua elevados, debe preferirse construir torres independientes para ese fin, en lugar de adosarlas al edificio principal.



Concentraciones de masa, tales como estanques de agua en el techo, jardines; máquinas, pueden producir daños que comprometan el funcionamiento del edificio

Problemas de configuración arquitectónica y estructural

Columnas débiles

Las columnas dentro de una estructura tienen la vital importancia de ser los elementos que transmiten las cargas a las cimentaciones y mantienen en pie a la estructura, razón por la cual cualquier daño en este tipo de elementos puede provocar una redistribución de cargas entre los elementos de la estructura y traer consigo el colapso parcial o total de una edificación.

Por lo anterior, el diseño sísmico de pórticos (estructuras formadas preferentemente por vigas y columnas) busca que el daño producido por sismos intensos se produzca en vigas y no en columnas, debido al mayor riesgo de colapso del edificio por el daño en columnas. Sin embargo, muchos edificios diseñados según códigos de sismorresistencia han fallado por esta causa.

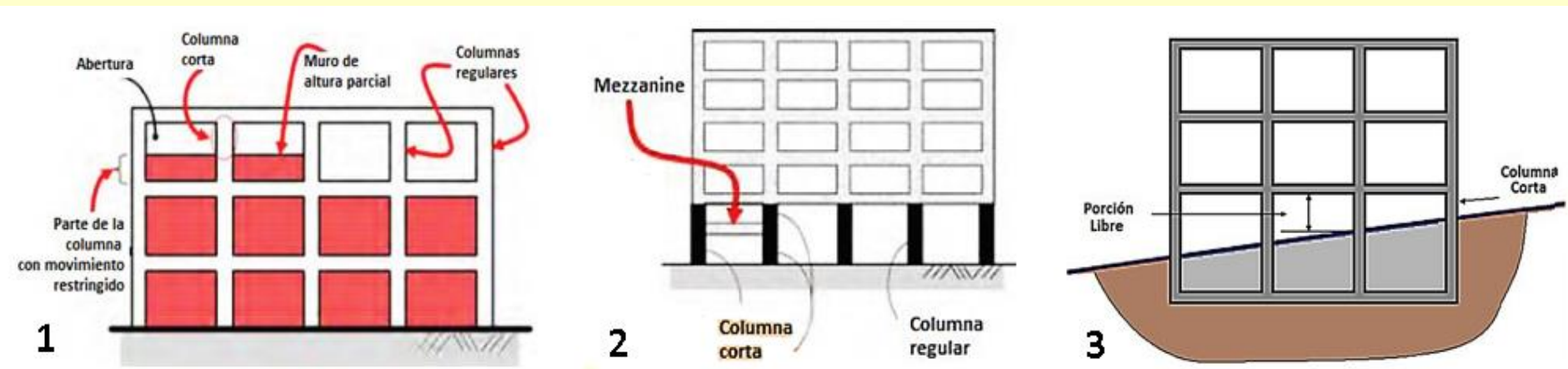
Estas fallas en columnas pueden agruparse en dos clases:

- Columnas cortas.
- Columnas de menor resistencia que las vigas.

Varias son las causas de que el valor de la longitud libre se reduzca drásticamente y se considere que se presente una columna corta:

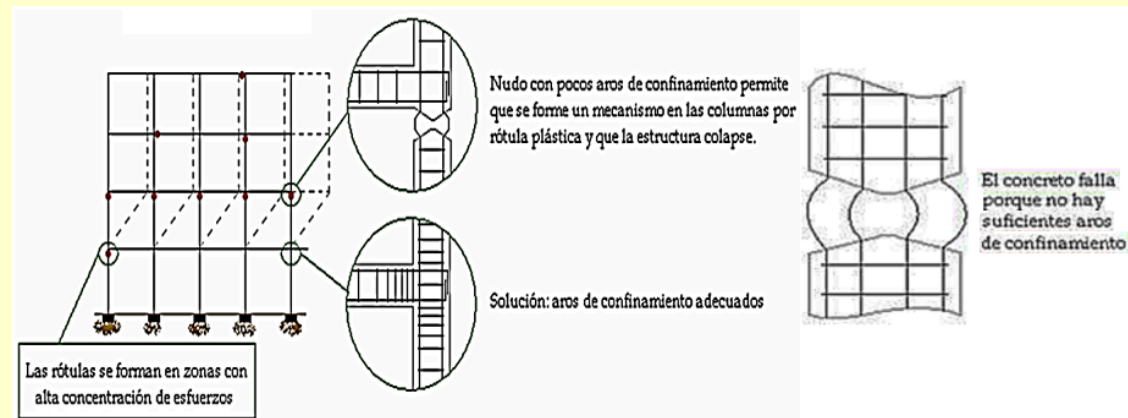
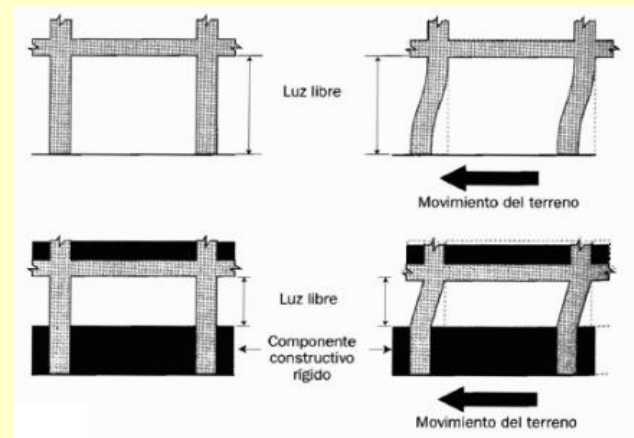
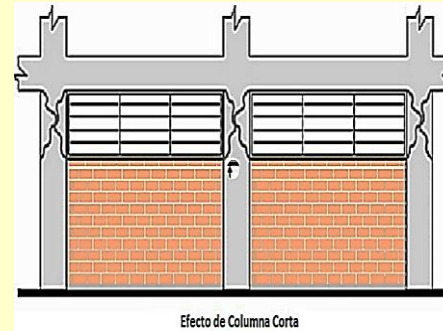
1. Confinamiento lateral parcialmente en la altura de la columna por muros divisorios, muros de fachada, muros de contención, etc.
2. Disposición de losas en niveles intermedios (Mezzanine).
3. Ubicación del edificio en terrenos inclinados.

Las columnas cortas son causa de serias fallas en edificios bajo excitaciones sísmicas debido a que su mecanismo de falla es frágil.





Columnas cortas



Problemas de configuración arquitectónica y estructural

Falla por Viga Fuerte – Columna Débil

Los edificios con columnas débiles y vigas fuertes experimentan primeros daños en las columnas; esto puede llevar al colapso del edificio. Estas estructuras vulnerables son caracterizadas por tener dimensiones de columnas relativamente pequeñas comparadas a las dimensiones de las vigas y son conocidas como estructuras con viga fuerte – columna débil.

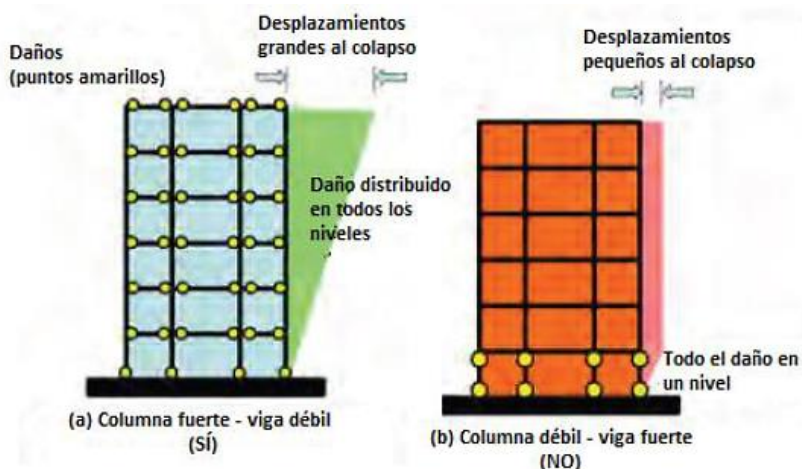
Durante un sismo, las columnas que son más débiles en comparación con las vigas sufren severos daños localizados en la parte superior e inferior de un nivel en particular, esto puede causar el colapso de un edificio entero, a pesar de que las columnas de los niveles superiores se mantengan prácticamente intactas.

En contraste, el enfoque de diseño de columna fuerte – viga débil, se espera que el daño ocurra primero en las vigas.

En sismos mayores, este tipo de daño se da en varias vigas a lo largo de la estructura; sin embargo, esto se considera un daño aceptable porque es poco probable que cause un colapso repentino del edificio.

Cuando las vigas son detalladas adecuadamente asegurando un comportamiento dúctil, el marco del edificio es capaz de deformarse significativamente, a pesar del daño progresivo causado por la consecuente cedencia del refuerzo de la viga.

Las fallas de columnas pequeñas y débiles se han reportado en sismos alrededor del mundo.



Dos distintos enfoques de diseño resultan en comportamiento sísmico significativamente diferentes (fuente: Murty 2005).

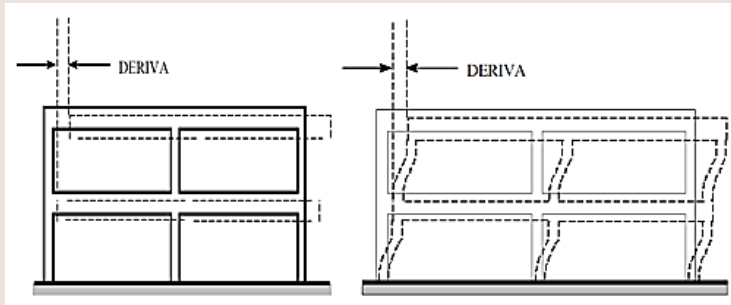


Colapso de varios pisos en un edificio de seis pisos debido al diseño de columna débil – viga fuerte en el sismo de 1999 en Turquía (fuente: Gulkan et al. 2002).

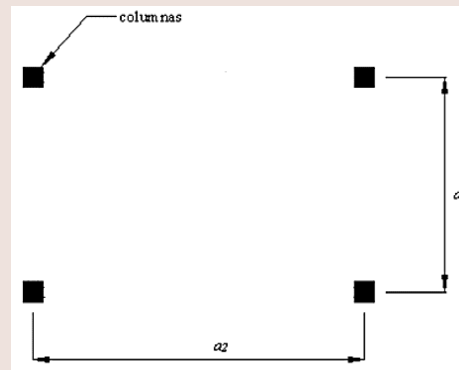
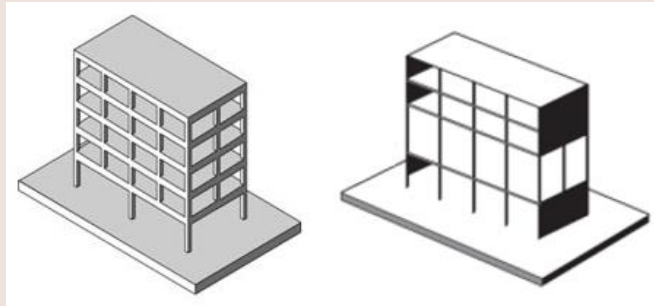
Problemas de configuración arquitectónica y estructural

Excesiva flexibilidad estructural

La excesiva flexibilidad de la edificación ante cargas sísmicas, puede definirse como la susceptibilidad a sufrir grandes deformaciones laterales entre los diferentes pisos, conocidas como **derivas**.



Las principales causas de este problema residen en la excesiva distancia entre los elementos de soporte (claros o luces), las alturas libres y la falta de rigidez de los mismos.



Dependiendo de su grado, la flexibilidad puede traer como consecuencias:

- Daños en los elementos no estructurales adosados a niveles contiguos.
- Inestabilidad del o los pisos flexibles, o del edificio en general.
- No aprovechamiento de la ductilidad disponible.

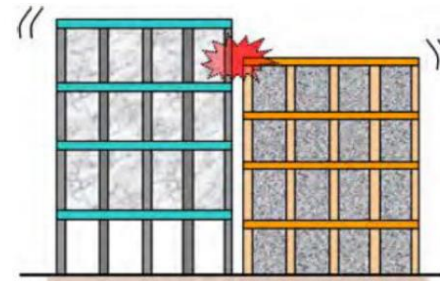
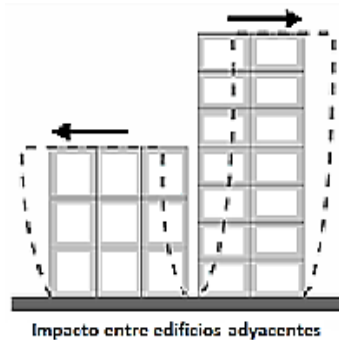


Problemas de configuración arquitectónica y estructural

Edificios adyacentes : Efecto de Martilleo

Cuando dos edificios se encuentran muy cerca uno del otro, pueden colisionar durante sacudidas fuertes; este efecto se conoce como Martilleo.

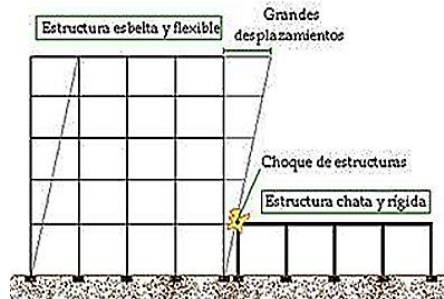
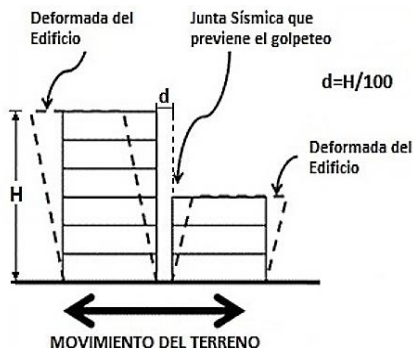
El efecto de martilleo es más pronunciado en edificios altos. Cuando la altura de los edificios no concuerda, el techo del edificio más pequeño puede golpear en una altura media de las columnas del edificio más alto; esto puede ser muy peligroso, y puede llevar al colapso del nivel.



El martilleo puede ocurrir en edificios adyacentes ubicados muy cerca uno del otro, debido a la sacudida inducida por un sismo

Se recomienda

- 1) una separación mínima entre edificios adyacentes, la cual puede ser una distancia del 1% de la altura del mayor edificio. La separación mínima entre las estructuras permite que tengan una respuesta dinámicas independiente.
- 2) Controlar el desplazamiento del edificio rigidizando en el sentido en que choca con el edificio adyacente.
- 3) En última instancia, alinear las losas del edificio a construir con las losas de los edificios adyacentes. De este modo al menos se evitarán los choques entre losa y columnas



Falla debida al golpeteo entre edificios adyacentes, cuyos entrepisos no coincidían en altura.

Problemas de configuración arquitectónica y estructural

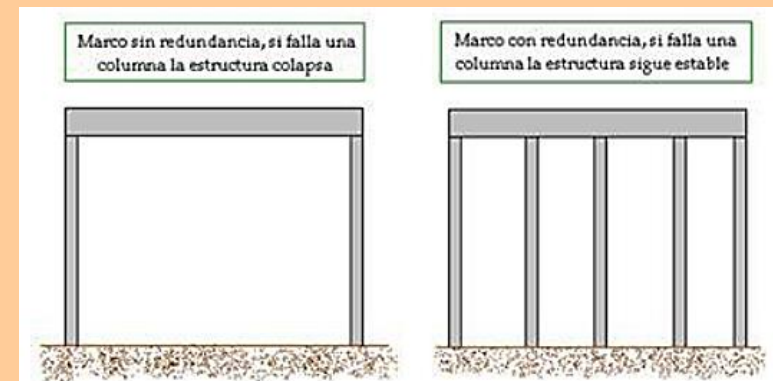
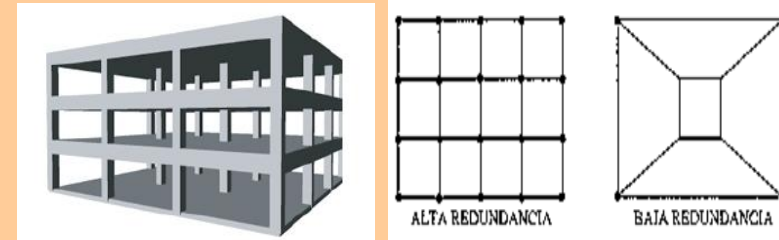
Falta de redundancia

La falta de redundancia está vinculada generalmente al de la flexibilidad estructural, puesto que el menor número de elementos en un área determinada conlleva la presencia de grandes vanos entre los soportes y, por tanto, menor rigidez lateral de la estructura.

El diseño de la estructura debe buscar que la resistencia a las fuerzas sísmicas dependa de un número importante de elementos, puesto que cuando se cuenta con un número reducido de elementos (poca redundancia) la falla de alguno de ellos puede tener como consecuencia el colapso parcial o total durante el sismo. En este sentido, debe buscarse que la resistencia a las fuerzas sísmicas se distribuya entre el mayor número de elementos estructurales posible.



Los edificios esbeltos con sólo dos ejes de columnas se autorizan para construir a pesar de su baja redundancia. Cumplen normas pero tienen menos oportunidades que aquellos que cuentan con más ejes.



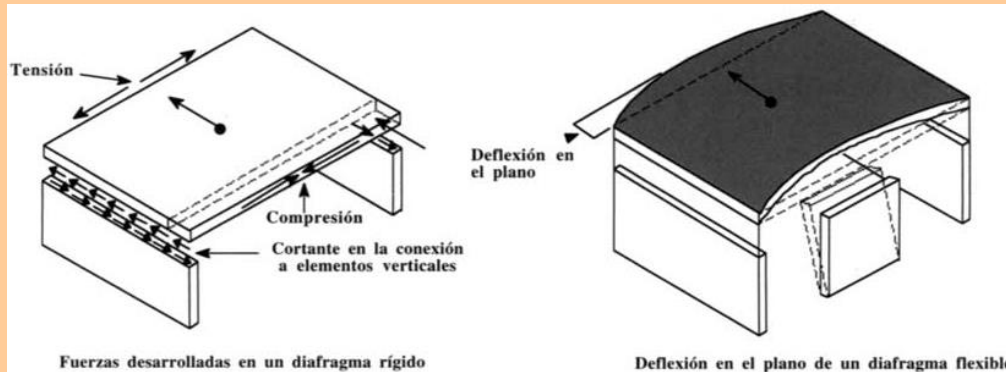
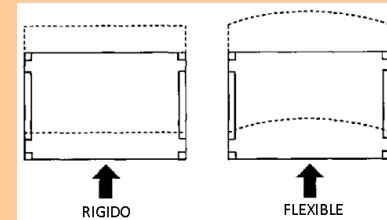
Problemas de configuración arquitectónica y estructural

Flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso

La flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso produce deformaciones laterales no uniformes, que son perjudiciales para los elementos no estructurales adosados al diafragma.

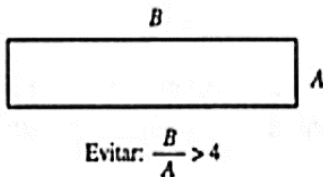
Las razones por las cuales puede darse este tipo de comportamiento flexible son:

- **Flexibilidad del material del diafragma.** (losa)
- **Falta de rigidez de la estructura vertical.** La flexibilidad del diafragma debe juzgarse también de acuerdo con la distribución en planta de la rigidez de los elementos verticales. En el caso extremo de un diafragma en el que todos los elementos verticales tengan igual rigidez, es de esperarse un mejor comportamiento del diafragma que en el caso en el cual tengan grandes diferencias en este punto.

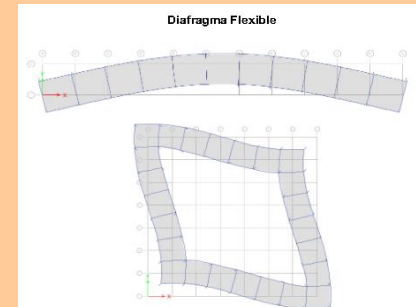
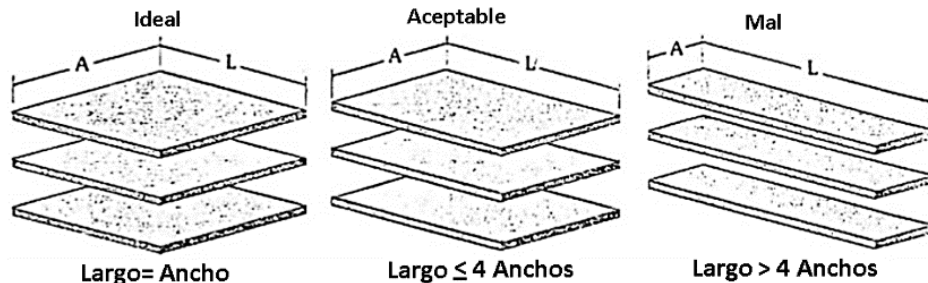


- **Relación de aspecto largo/ancho del diafragma.** Por tratarse de un trabajo a flexión de este tipo de elementos, **mientras mayor sea la relación largo/ancho del diafragma (superior a 5), mayores pueden ser sus deformaciones laterales** y puede considerarse flexible.

Flexibilidad excesiva en el diafragma



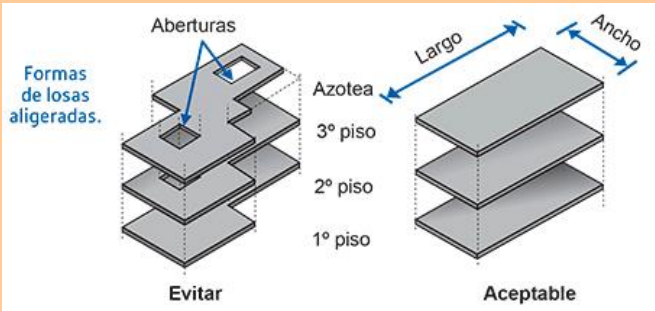
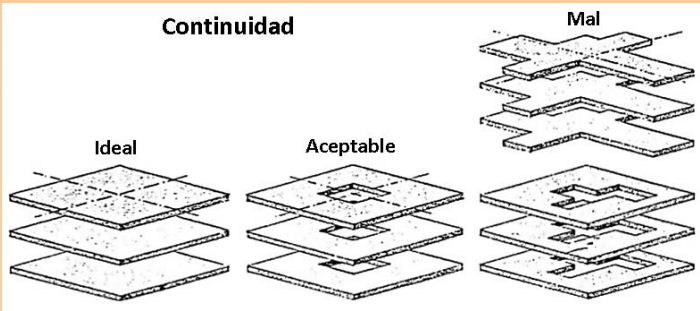
Evitar: $\frac{B}{A} > 4$



Problemas de configuración arquitectónica y estructural

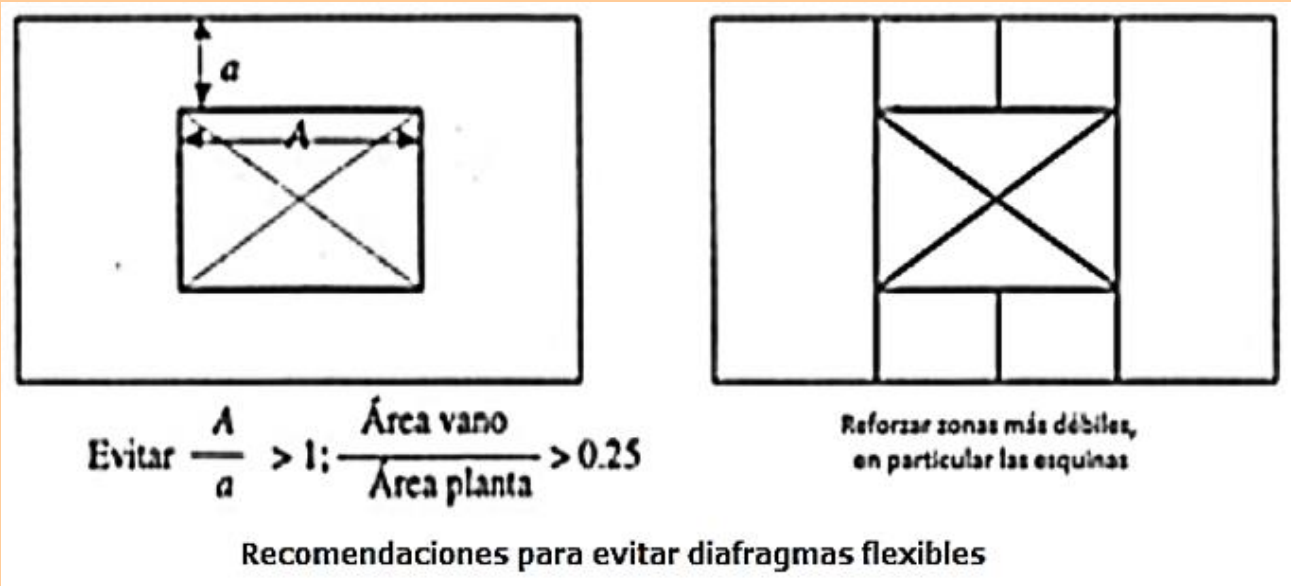
Flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso

Aberturas en el diafragma



Las aberturas de gran tamaño practicadas en el diafragma (losa) para efectos de iluminación, ventilación y relación visual entre los pisos, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de las estructuras verticales.

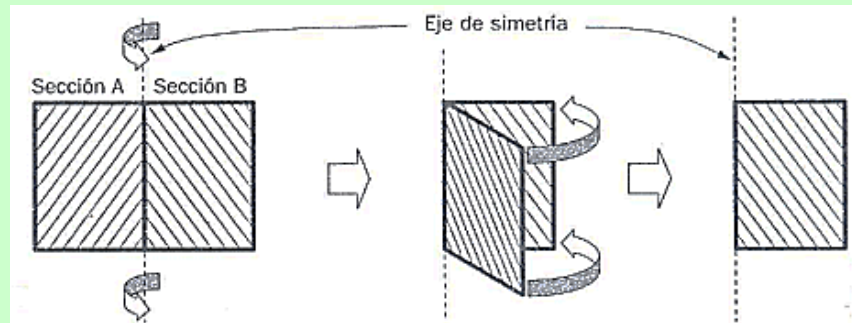
Las soluciones al problema de excesiva flexibilidad del diafragma son múltiples y dependen de la causa que la haya ocasionado. Las grandes aberturas en el diafragma **deben** estudiarse con cuidado, con el fin de **proveer mecanismo de rigidización** o, si esto no es posible, **segmentación del edificio en bloques.**



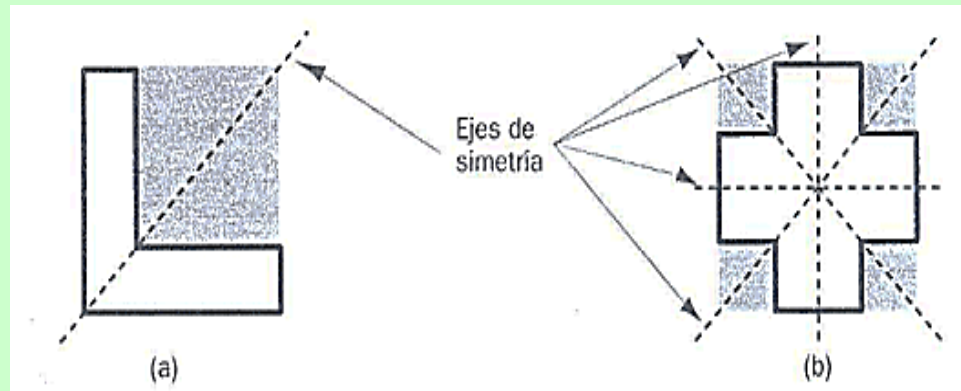
La Simetría

Es una propiedad geométrica relacionada con la reciprocidad en tamaño, forma y posición relativa de las partes de un cuerpo o figura, en el lado opuesto de una línea de división, de un plano o alrededor de un centro o de un eje.

En geometría hay diferentes tipos de simetría, como simetría por rotación o la simetría por repetición, pero **para los efectos de los reglamentos sísmicos se utiliza la simetría por reflexión**, que es la propiedad geométrica en la que existe una relación biunívoca entre dos secciones opuestas de un objeto cuando, al girar una sobre otra alrededor de un eje o un plano de simetría, todos los puntos de una sección de un objeto coinciden con los de la sección opuesta.



Un objeto puede ser simétrico con relación a uno o varios ejes ortogonales o planos de simetría, siempre y cuando las partes de la figura a ambos lados del eje o plano que se está considerando sean idénticas.

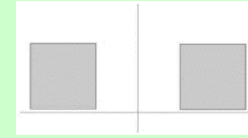


La Simetría

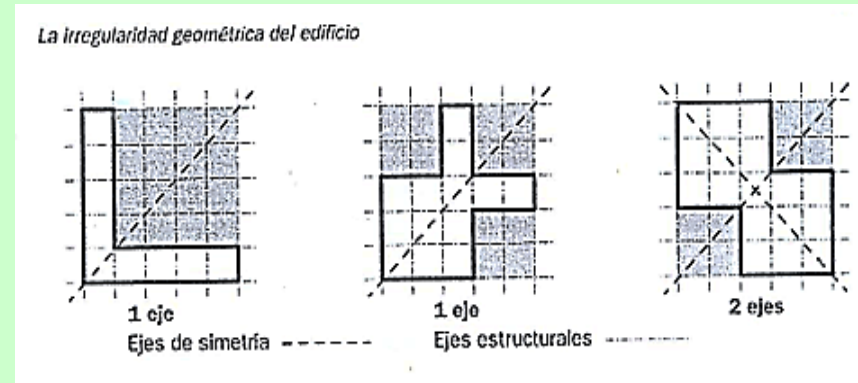
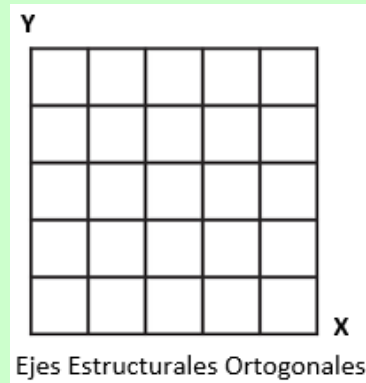
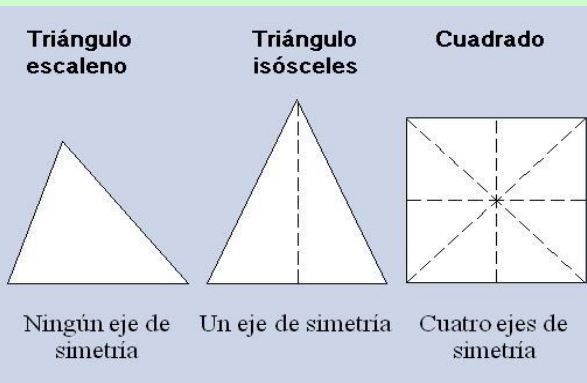
Lo importante en el diseño (ESR) es la simetría con relación a sus ejes estructurales y a sus características dinámicas.

El Equilibrio estático se caracteriza por la simetría respecto a un eje o plano

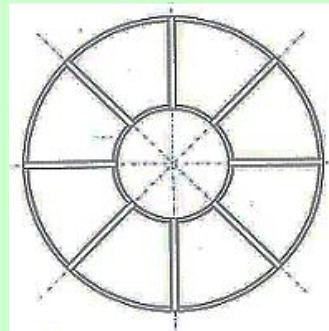
Las asimetrías producen desequilibrios.



Pueden existir figuras geoméricamente simétricas en las cuales, al colocar unos posibles ejes estructurales ortogonales, pero los ejes de simetría no serían ni paralelos ni perpendiculares a los ejes estructurales, por lo que generarían configuraciones estructuralmente asimétricas. (hay que hacer la *diferenciación entre simetría geométrica y simetría estructural* para evitar interpretaciones inapropiadas cuando se tratan los aspectos arquitectónicos)

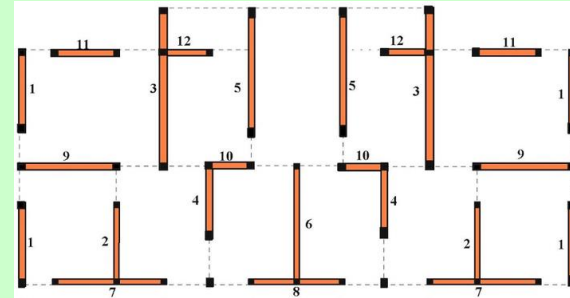
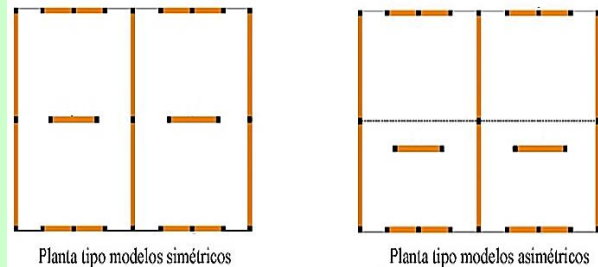


En las normas se castigan las plantas cuyos ejes estructurales no son paralelos, pero existen formas de planta como la circular que pueden tener los ejes estructurales radiales, es decir no paralelos, pero si tendrían simetría estructural, como en el caso en el que sólo hay vigas circulares y los muros en cuatro de sus innumerables posibles ejes de simetría. Esta forma que posee un sistema estructural con una distribución regular de rigidez, resistencia y masa reactiva, es capaz de soportar los efectos de un sismo en cualquier dirección.

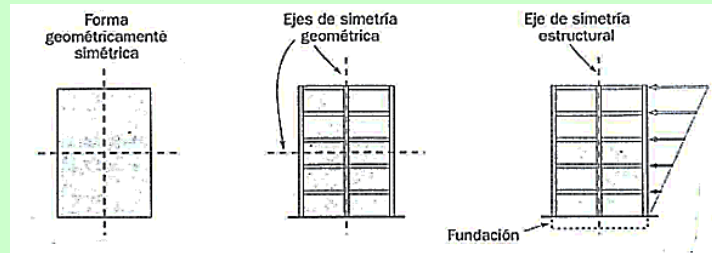


La Simetría

Una de las decisiones críticas con relación a la **habilidad de los edificios para resistir los sismos**, es la elección de la **forma básica de la planta y de su configuración**. Si se tiene en cuenta que **las fuerzas sísmicas pueden venir en cualquier o de todas las direcciones** sobre todos los componentes del edificio simultáneamente, **la mejor solución será un edificio simétrico en planta y alzado igualmente capaz de soportar las fuerzas aplicadas desde cualquier dirección**.

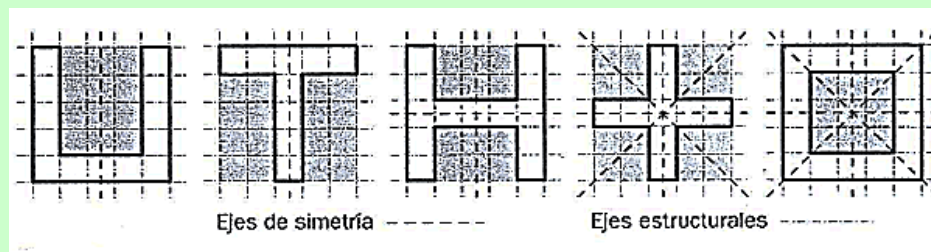


Para identificar la simetría en altura, se debe tener en cuenta que el edificio no está simplemente apoyado sobre el terreno, sino que está empotrado en este y actúa como un voladizo vertical, por lo que también **se tiene en cuenta la cimentación**. La simetría en alzado se tendrá en cuenta sólo con relación a los ejes verticales. **Al representar la estructura de un edificio sería simétrica con relación a un eje vertical, y no a uno horizontal**



Como ejemplo:

Las formas geométricas en U, T, H, +, □ las cuales son típicas de plantas de edificios han sido consideradas como formas no recomendadas debido a los retranqueo o áreas entrantes y a la concentración de esfuerzos que se podrían generar antes las acciones sísmicas, en la unión de los diferentes cuerpos que se forman. Por otra parte, la proporción de los cuerpos que se forman juega un papel muy importante. **La simetría de un edificio se determina no sólo por su forma geométrica sino por la distribución de su masa, las dimensiones y las características dinámicas de los componentes estructurales y por la distribución de estos en planta y alzado.**

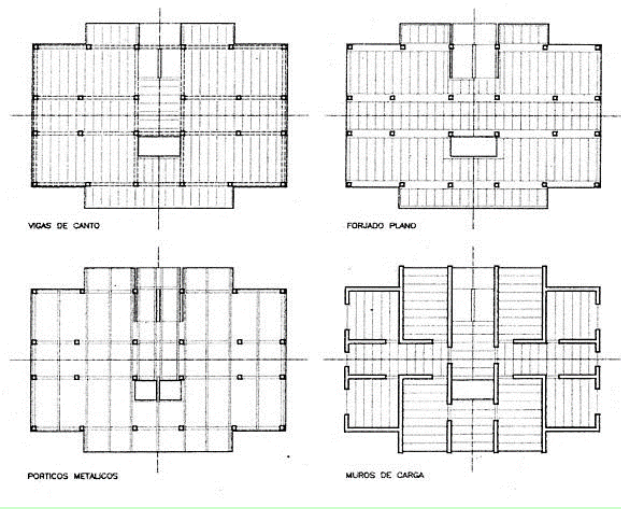


La Forma de edificio

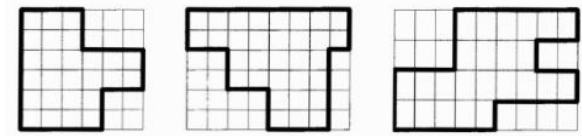
Con cada terremoto que ocurre en el planeta se demuestra una y otra vez, que mientras los diseños arquitectónicos y estructurales sean más complejos, alejados de diseños simples, armoniosos y simétricos (como son los diseños de la naturaleza), mayor será el efecto que un sismo tenga en la edificación.

La experiencia indica que los edificios con disposiciones no simétricas o irregulares resultan más dañados frente a un terremoto, por tanto, la distribución geométrica de los elementos resistentes y arriostramientos debe ser tan simétrica y regular como sea posible.

(Amatrice, Italia 2016,)



La irregularidad geométrica en planta



La categoría de plantas rectanguladas cubre un gran espectro de formas, dimensiones y proporciones. Se pueden encontrar, por una parte, la plantas regulares, que van desde los cuadrados perfectos hasta rectángulos muy alargados, y por otra las plantas rectanguladas irregulares, definidas por figuras no convexas, con entrantes perimetrales organizados de acuerdo a una geometría rectangular, es decir, que los lados de las área entrantes se unen ortogonalmente. Ejemplo: las formas U, T, H, +, □ y sus combinaciones.

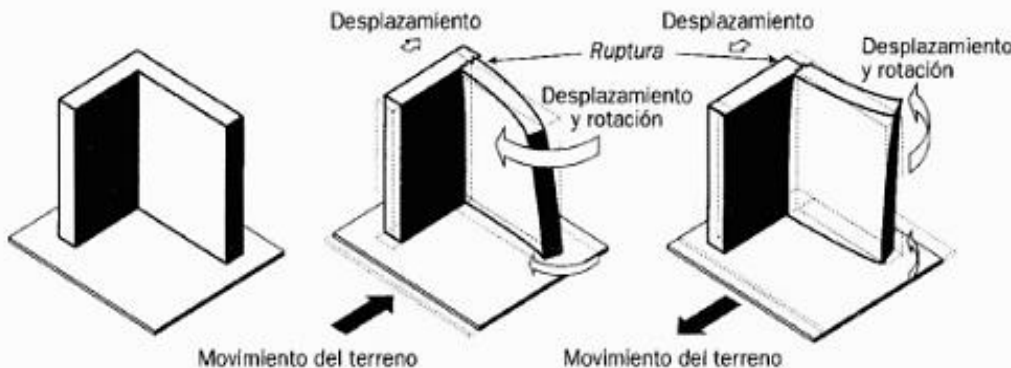
El problema que se presenta con los diferentes cuerpos que se unen para conformar el edificio es que, con la vibración del terreno, cada uno de ellos oscila en un sentido y con una frecuencia diferente unos respecto a otros, debido a sus características dinámicas y a su orientación con relación a la dirección predominante del movimiento sísmico.

En un edificio con planta en forma de L, cada uno de los dos cuerpos se movería de forma diferente ante la acción del movimiento del terreno, produciéndose graves daños en la zona de unión.

Si cada cuerpo fuera concebido como un edificio separado, se movería independientemente del otro. El cuerpo cuyo eje es paralelo a la dirección predominante del movimiento del terreno se desplazará, pero teóricamente no sufrirá mayores rotaciones

Existen otras formas geométricas, tales como las trianguladas y los arcos, que generan unas disposiciones de los componentes estructurales catalogados como irregulares, debido a que las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica

PLANTAS



Sencillas			Complejas		

La irregularidad geométrica en alzado

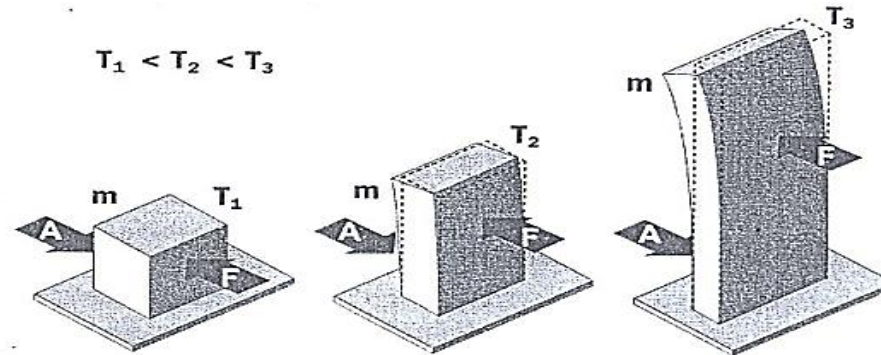
Dentro de la clasificación de **las irregularidades geométricas en alzado** se incluyen:

- a) **las formas** constituidas **por prismas esbeltos**, principalmente **con bases rectangulares y triangulares**; y
- b) **las formas** identificadas principalmente **con la presencia de retranqueos en el muro de fachada con relación a uno o más pisos**.

Una gran esbeltez en el edificio puede causar el efecto de vuelco y la generación de grandes deformaciones.

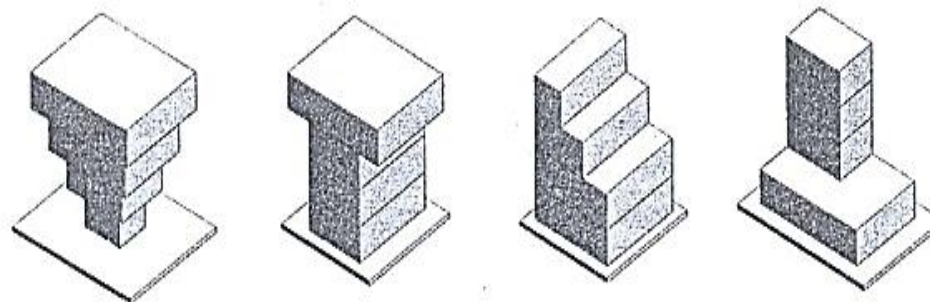
Generalmente cuanto más esbelto es el edificio, mayores son los desplazamientos en la parte alta y su período T.

Un edificio esbelto puede entrar en resonancia con un suelo blando (ver comportamiento de tres edificios de configuraciones diferentes en un suelo blando).



La irregularidad geométrica en alzado se caracteriza principalmente por los retranqueos, lo cual consiste en el desplazamiento de la pared exterior de una o varias porciones del edificio con relación a los límites establecidos en los planos verticales del volumen envolvente o la pared de fachada de otra parte superior o inferior. Los retranqueos pueden conducir a la discontinuidad e irregularidad de la distribución de los elementos resistentes y se pueden producir cambios bruscos en la masa reactiva, la resistencia y rigidez entre las diferentes partes del edificio y, por lo tanto tener un comportamiento inadecuado ante un sismo.

Las configuraciones con retranqueos más comunes se encuentran: **a)** el escalonamiento en la parte superior del edificio. **b)** base y torre, que puede ser una base con una o varias torres. **c)** un conjunto de edificios aislados con sótano común de varios pisos. **d)** los cuerpos entrantes y salientes. **e)** los voladizos. **f)** el tipo péndulo invertido. **g)** los edificios pirámides. **h)** la falsa regularidad volumétrica con vacíos interiores.



Las dimensiones

El tamaño y la proporción de los edificios o sus partes son características geométricas muy importantes en la consideración de los efectos producidos por los sismos.

Son tantas las variables que están involucradas en el comportamiento de los ESR que la modificación en las dimensiones y las proporciones de cualquiera de sus componentes, por una parte y del edificio como un todo, puede afectar notablemente la respuesta ante un sismo.

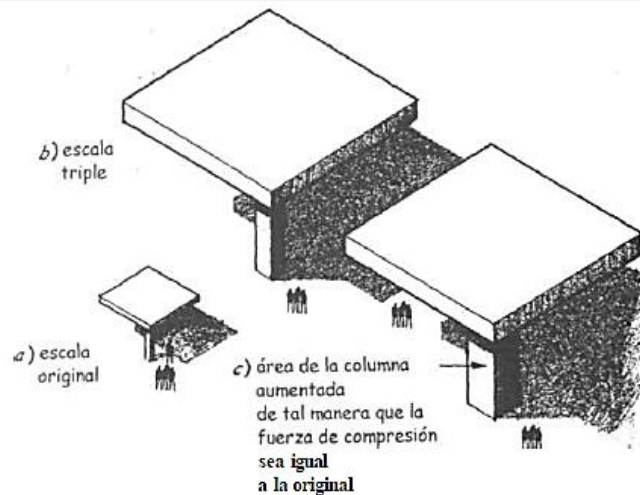
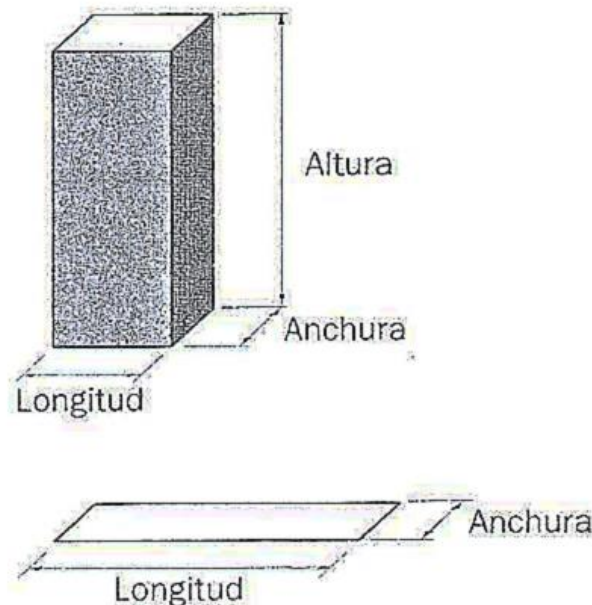
El cambio de escala no es simplemente una modificación dimensional que mantiene las proporciones geométricas, hay que tomar en cuenta las características físicas de los materiales y del sistema constructivo que se está utilizando, pues el cambio de escala no es proporcional en la capacidad física de la resistencia de los materiales.

Las proporciones

Es la correspondencia de las partes de una cosa con el todo o entre cosas relacionadas entre sí.

Las relaciones de proporción son dominantes en su comportamiento

En caso de la configuración del edificio se ha considerado la proporción como: a) en vertical, la esbeltez: relación entre altura y la menor dimensión en planta; y b) en horizontal, la relación de aspecto; longitud/anchura.



El efecto de cubo cuadrado en la construcción de la estructura: a) escala original; b) estructura más grande con todas las dimensiones triplicadas, y c) la estructura más grande con un área de columna aumentada para que los esfuerzos de compresión sean los mismos que para la estructura más pequeña.

Efecto de la escala y del cubo en una estructura.

Una estructura que es adecuada a una escala no es por fuerza la indicada cuando todas las partes crecen proporcionalmente.

El problema es que las cargas de construcción son determinadas de manera principal por el peso de los componentes de edificio, y el peso esta determinado por el volumen, pero la fuerza de la construcción está determinada por el área de sección transversal de los elementos.

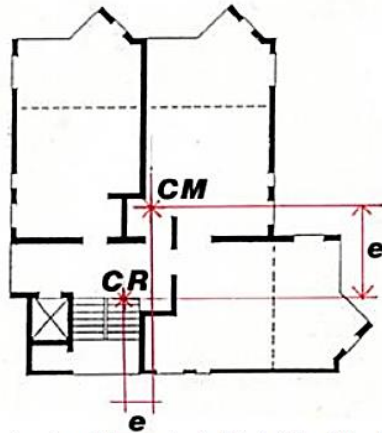
Quando la estructura se aumenta de forma proporcional hacia arriba, el volumen (y la carga de gravedad) aumenta a razón del cubo de la proporción, mientras los esfuerzos de sus elementos aumentan a una razón más lenta del cuadrado de la proporción.

CRITERIOS ESTRUCTURALES

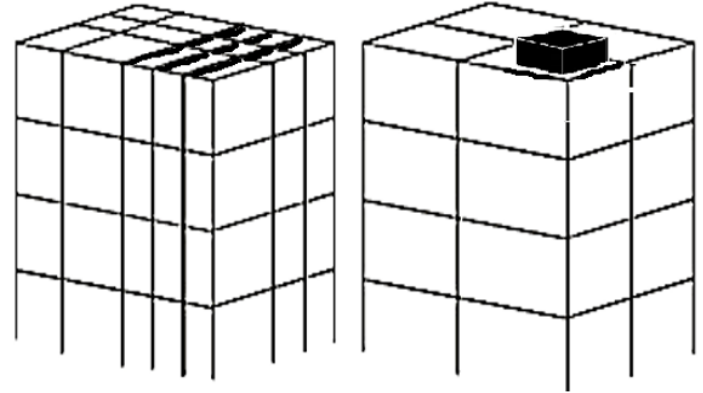
Un factor que ayuda al desempeño de las estructuras ante un sismo es la Simetría respecto a sus dos ejes en planta, ya que la falta de regularidad por simetría, masa, rigidez o resistencia en ambas direcciones en planta produce torsión, la cual no es fácil de evaluar con precisión y demanda mayores solicitaciones a algunos elementos resistentes.



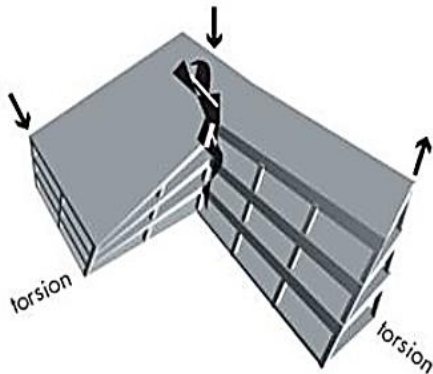
Alta excentricidad en planta. Edificio colapsó en el terremoto de Viña del Mar, Chile, 1985.



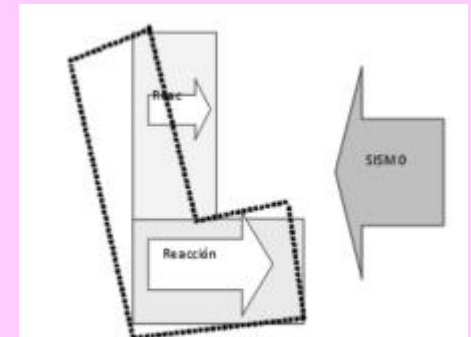
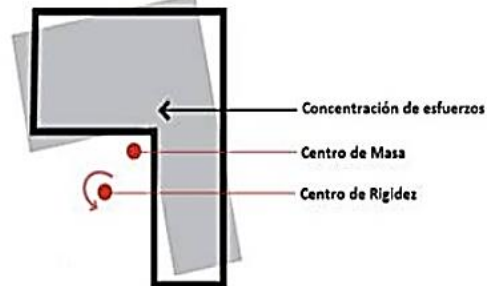
Falsa simetría: Edificios que poseen una configuración en apariencia sencilla, regular y simétrica pero debido a la distribución de la estructura o la masa es asimétrica



Se debe tener en cuenta que las fuerzas sísmicas actúan en el centro de masa y la resistencia actúa en el centro de rigidez, por lo que se podría causar una vibración torsional si no se realiza una buena distribución de las rigideces, de las masas o una forma geométrica regular de la planta

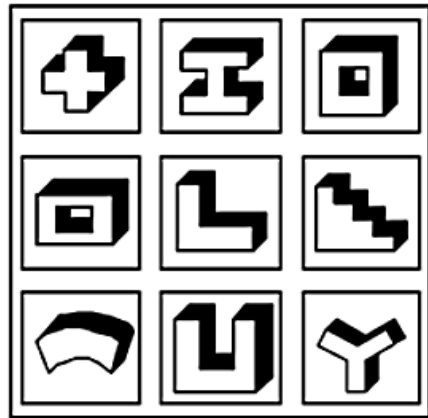


Torsión causada por irregularidad en planta.

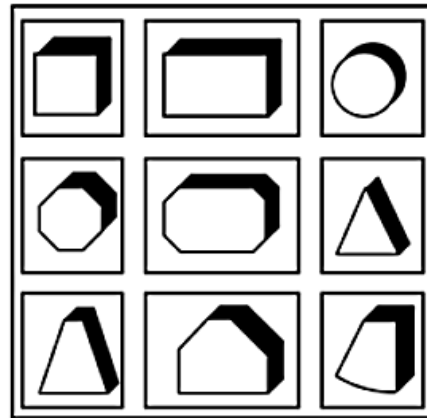


Esfuerzos de torsión por falta de simetría
Fuente: Henneberg de León.

Cuando las plantas tienen formas asimétricas la respuesta sísmica es poco conveniente, porque **se generan vibraciones torsionales**. Por tanto se deben evitar formas en planta como las que se visualizan en la figura



Plantas Complejas.

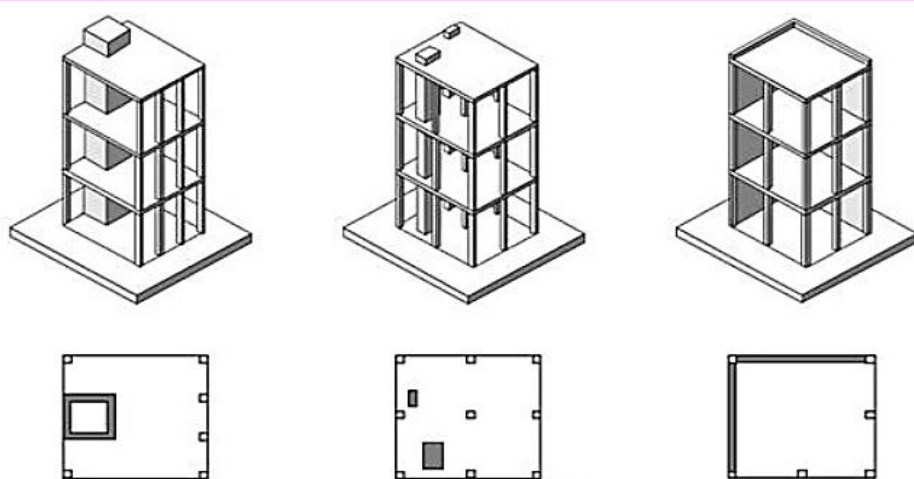


Plantas Sencillas.

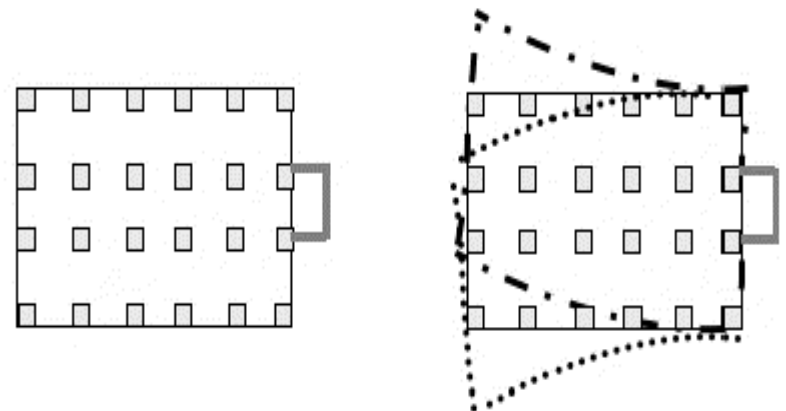


Falla de construcción asociada con el movimiento de torsión,
(Ciudad de México 2007)

Las plantas no sólo son irregulares por su geometría, también pueden tener formas regulares. Pero la mala distribución de los elementos rígidos hace que existan grandes excentricidades, por tanto ante la ocurrencia de un sismo, la edificación es propensa a efectos torsionales



Falsa Regularidad en Planta.

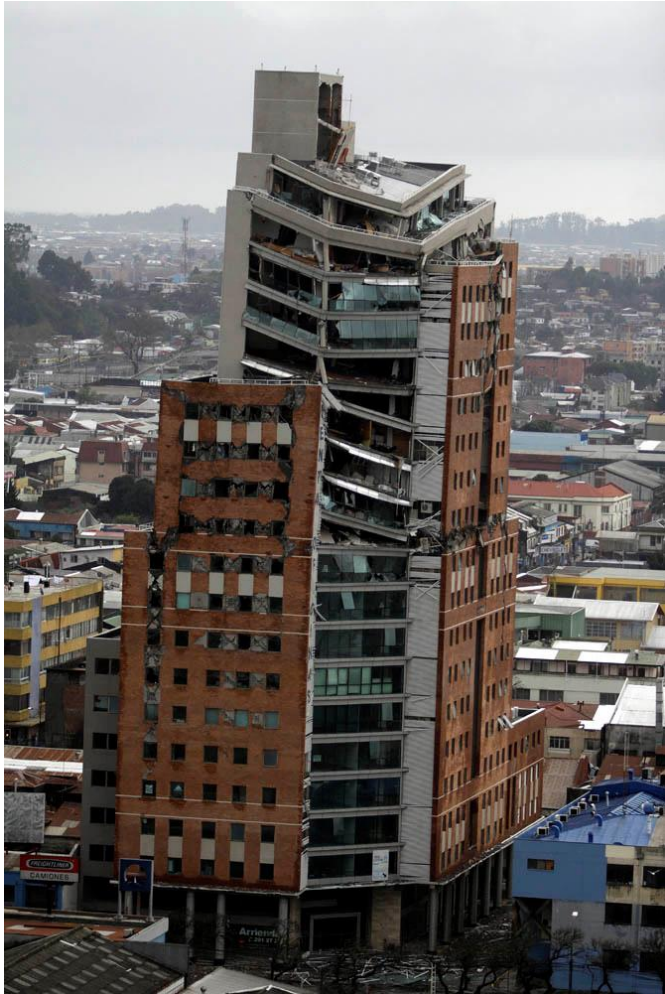


deformación por Torsión debida a la excentricidad

Vulnerabilidad sísmica de los edificios

Efectos de sismos importantes desde 1980 y hasta 2008 en edificios de concreto y mampostería.

La estructura se basa en los estudios de Solomon y murat, 2008.

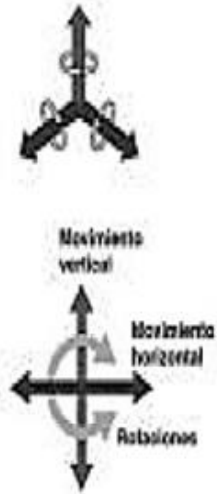


Torre O Higgins depues del terremoto del 27 de Febrero del 2010 Concepción Región del Biobío

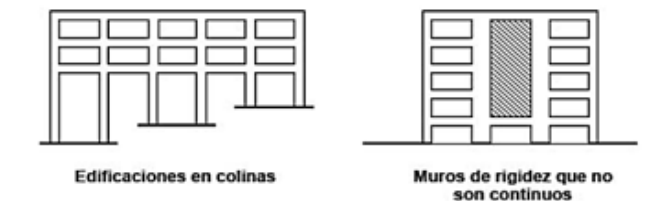
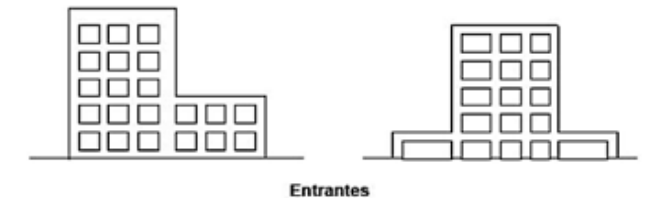
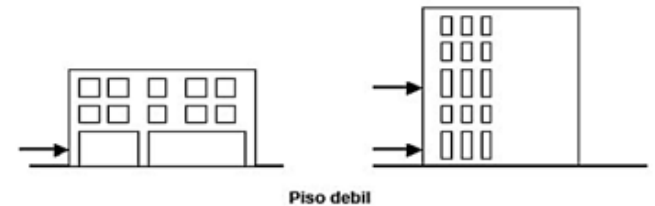
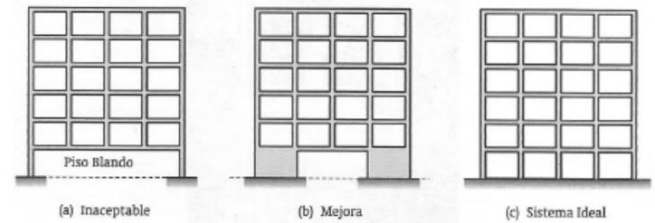
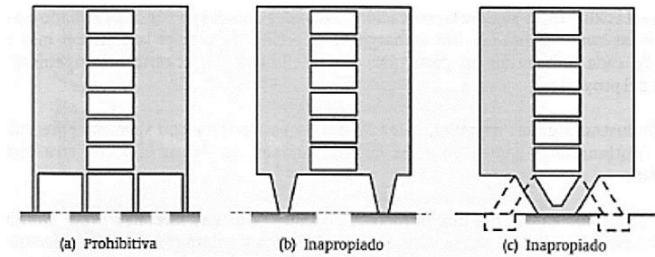
Nombre del sismo	Fecha	M _w	Referencia	Columna corta	Discontinuidad de columnas	Piso blando	Torsión	Diseño estructural deficiente	Colindancias	Problemas de reglamentos	Conexiones	Columna débil y viga fuerte	Materiales débiles o sin refuerzo	Levefacción	Deslizamiento de tierras
El Asnam, Argelia	10/10/80	7.3	EERI, 1983	.		.	.	.	.	.		.	.
Viña del Mar, Chile	03/03/85	7.8	ICH, 1988		.		.	.		.		.	.	.
Michoacán; México	19/09/85	8.1	Popov, 1987 y Tena, 2004	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Loma Prieta, Estados Unidos	17/10/89	6.9	EERI, 1989			.			.	.				.
Spitak, Armenia	07/12/88	6.8	Tena, 2004				.	.		.	.		.
Luzon, Filipinas	16/07/90	7.8	Hopkins, 1993			.	.	.					.	.
Erzincan, Turquía	13/03/92	6.7	Saatcioglu y Bruneau, 1993	.		.	.	.		.		.	.
Northridge, Estados Unidos	17/01/94	6.7	Tena, 2004	.			.	.		.	.
Kobe, Japón	17/01/95	6.9	Tena, 2004				.	.	.	.	.		.	.
Kocali, Turquía	17/08/99	7.4	Naeim y otros, 2000	.		.	.	.		.	.	.	.
Chi-Chi, Taiwan	21/09/99	7.6	Tsai y otros, 2000	.	.	.		.		.	.	.	.
San Salvador, El Salvador	13/01/01	7.6	Alarcón, 2005			.	.	.	.	.		.	.
Bhuj, India	26/01/01	7.7	Humar y otros, 2001	.		.	.	.		.				.
Tecomán, México	21/01/03	7.8	Alcocer y Klingner, 2006			.	.	.		.			.
Bingöl, Turquía	01/05/03	6.4	Dogangün, 2004	.		.		.	.	.	.				.
Lefkade, Grecia	14/08/03	6.2	Karakostas y otros, 2005	.		.	.	.		.
Bam, Irán	26/12/03	6.5	Tena, 2004			.	.	.		.			.
Sumatra, Indonesia	26/12/04	9.3	CAEE, 2005	.		.		.		.	.	.	.
Java, Indonesia	27/05/06	6.3	EERI, 2006		.	.	.	.		.		.		.	.
Pisco, Perú	15/08/07	8.0	Klinger, 2007			.	.	.	.	.	.		.
Wenchuan, China	12/05/08	8.3	Xiao, 2008	.		.	.	.	.	.		.	.		.

Intervención y reducción de la vulnerabilidad estructural

Patrones de respuesta de diferentes porciones de la edificación ante los efectos de un sismo



IRREGULARIDAD VERTICAL (PISO BLANDO & PISO DÉBIL)



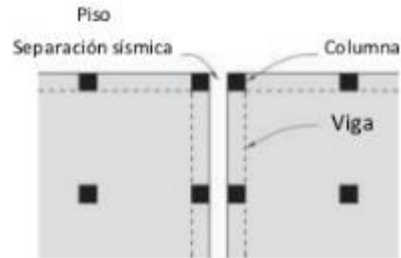
Intervención y reducción de la vulnerabilidad estructural

Plantas irregulares

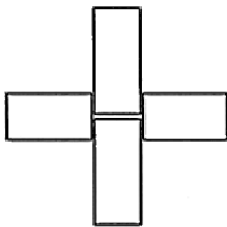
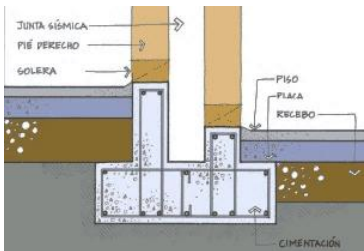
Cuando las plantas poseen formas irregulares es aconsejable utilizar juntas de construcción de dilatación sísmica (como las mencionadas para el caso de los edificios largos), dividiendo la planta global en varias formas regulares. Estas juntas permiten que cada bloque tenga su propio movimiento sin estar atado al resto del edificio, con lo cual se rompe el esquema de trabajo en voladizo de cada ala.

Pero éstas pueden originar problemas de funcionamiento, ya que la holgura (ancho) que hay que dejar entre las juntas es considerable para permitir el movimiento de cada bloque sin golpearse y también se deben tomar previsiones para sellar las uniones.

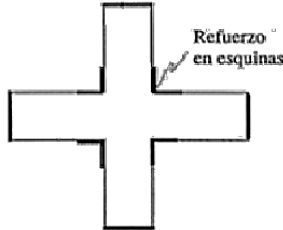
Como segunda opción, aunque poco aconsejable, se puede restringir la vibración torsional con el uso de elementos resistentes (muros) en las zonas donde existen mayores concentraciones de esfuerzos.



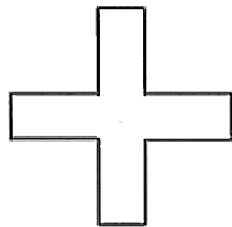
Planta de Separación sísmica y columnas en ambos lado de la abertura



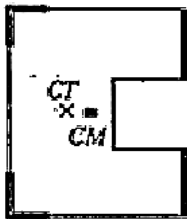
Separar las alas mediante juntas de construcción



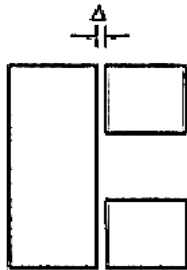
Refuerzo de las esquinas donde habrá una concentración de esfuerzos



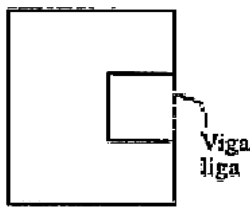
Planta Original



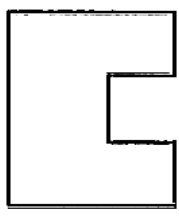
Utilizar elementos rigidizantes en las esquinas



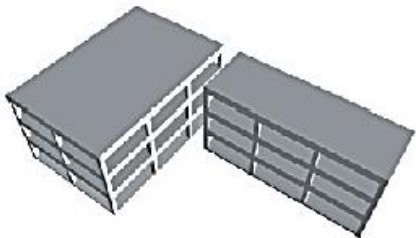
Separar las alas mediante juntas de construcción



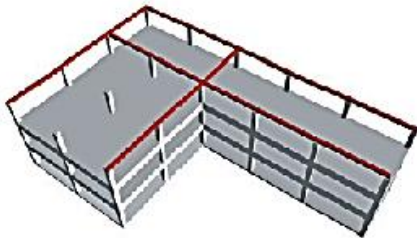
Unir las alas de la planta mediante vigas



Planta Original



Separar la estructura en dos.



Rigidizar la "unión" entre edificios



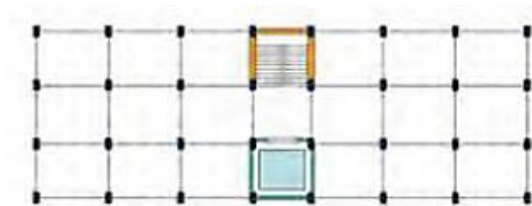
Restringir el movimiento de las Alas y rigidizar las zonas con mayor concentración de esfuerzos

Como Evitar Pisos Suaves

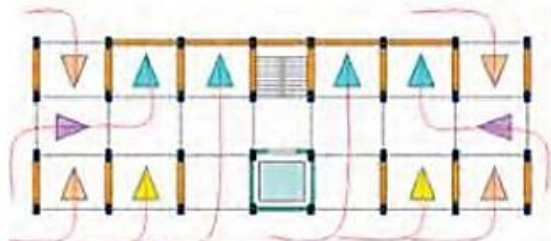
Los edificios con piso suave son extremadamente susceptibles al daño y hasta al colapso provocado por un sismo.

Los arquitectos e ingenieros estructurales pueden usar la siguiente estrategia de diseño conceptual para evitar desempeños no deseados de los edificios con planta baja abierta durante un sismo:

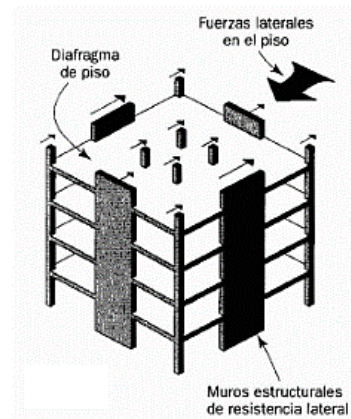
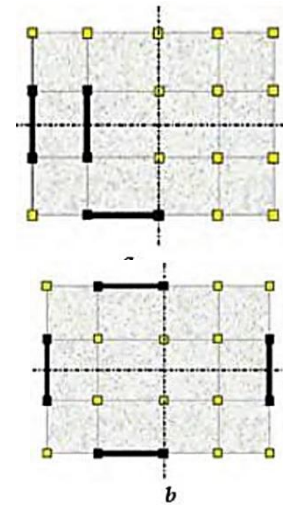
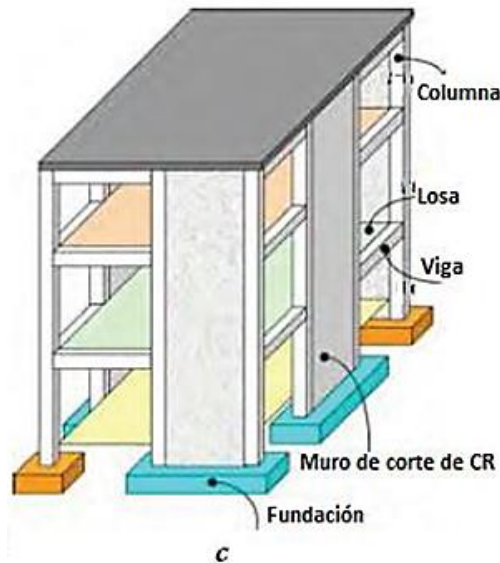
- El edificio se debe diseñar tomando en cuenta los efectos en el desempeño de un piso abierto.
- Proveer todos los muros posibles de mampostería en la planta baja abierta: esto debería ser posible cuando la planta baja abierta se está utilizando para ofrecer estacionamientos.
- Cuando el número de paneles en la planta baja que se pueden rellenar con muros de mampostería es insuficiente para ofrecer la rigidez y resistencia lateral necesaria para la planta baja, un marco dúctil no es una opción adecuada. En tales casos se requiere un sistema alternativo, ej. como un muro de corte de CR, para resistir las cargas laterales de sismo (fuente: Murty et al. 2006).



(a) Planta baja completamente abierta (vista en planta)



(b) Planta baja con muros de relleno (vista en planta). Los triángulos indican parqueos para carros.



La disposición de los muros de CR debe ser simétrica para evitar efectos torsionales: (a) no se desea una ubicación asimétrica de los muros de CR, y (b) se desea una disposición simétrica de los muros de CR en los dos ejes y a lo largo del perímetro (fuente: Murty 2005).

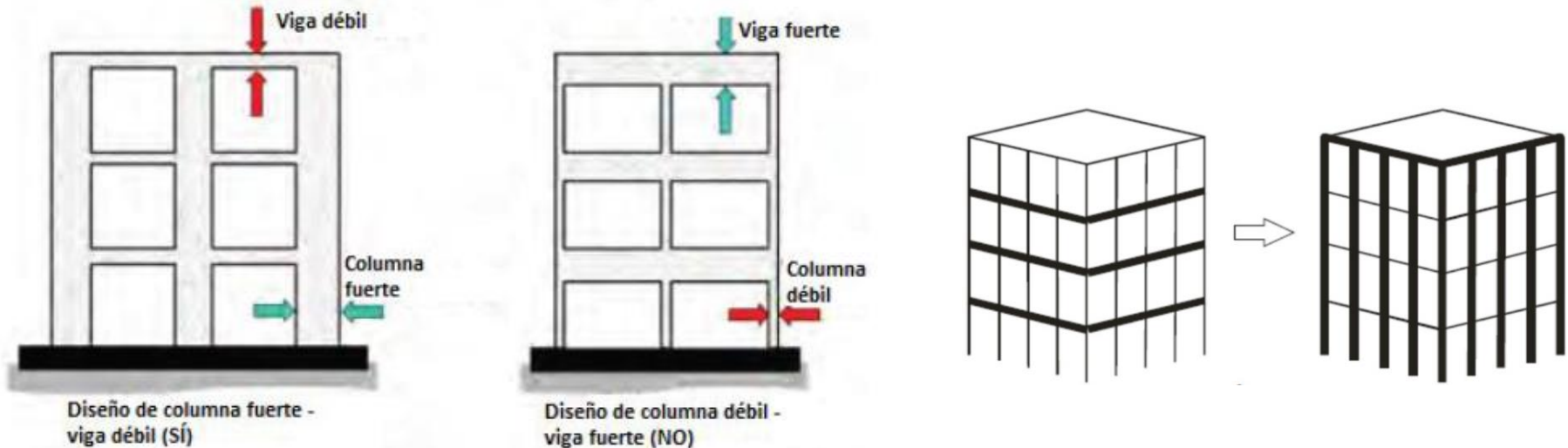
Las conexiones viga-columna

Las conexiones viga-columna también son críticas para asegurar un comportamiento sísmico satisfactorio en los edificios. El enfoque aceptado actualmente para el diseño sísmico de marcos de concreto reforzado es el llamado columna fuerte – viga débil.

Las columnas (que reciben las fuerzas de las vigas) **se deben diseñar para ser más fuertes en flexión que las vigas**, y de la misma manera, las fundaciones (que reciben las fuerzas de las columnas) **se deben diseñar para ser más fuertes que las columnas**.

Las columnas se pueden hacer más resistentes en flexión que las vigas teniendo una mayor área de sección transversal y una mayor cantidad de acero longitudinal que la viga.

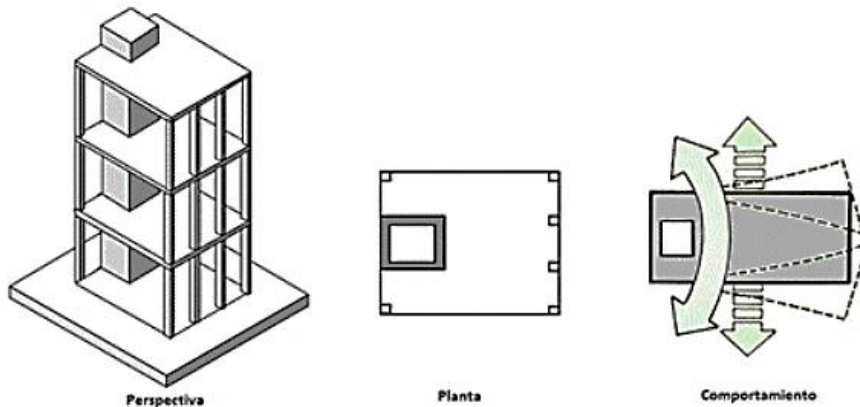
Las conexiones entre vigas y columnas así como entre columnas y fundaciones se deben diseñar para que se evite su falla asegurando la transmisión de las fuerzas de manera segura entre estos elementos.



Las vigas se deben diseñar para actuar como los enlaces débiles en un edificio de marcos de CR; esto se puede lograr diseñando las columnas más fuertes que las vigas (fuente: C. V. R. Murty).

Ubicación del núcleo de escaleras

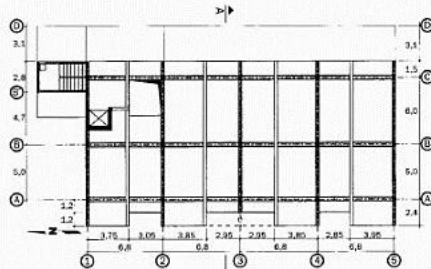
No es recomendable la ubicación del núcleo de escaleras y de ascensores en las partes externas de la estructura, ya que además de actuar aisladamente ante los sismos, terminan produciendo problemas de torsión sísmica en la edificación.



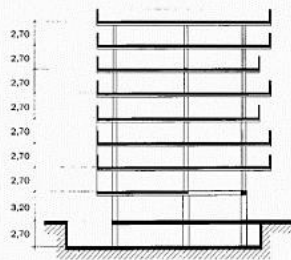
Comportamiento de edificación con el núcleo de circulación en un extremo.



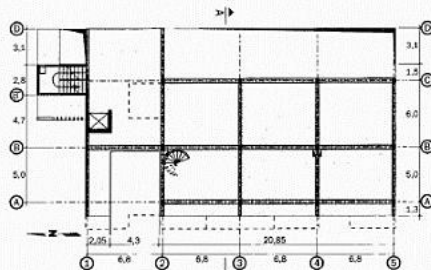
Daños en edificios con presencia simultánea de varias configuraciones irregulares



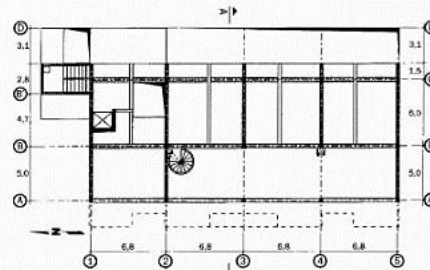
Losa de piso nivel apartamentos



Sección AA'



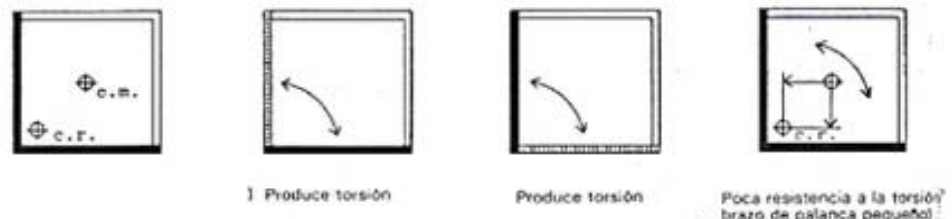
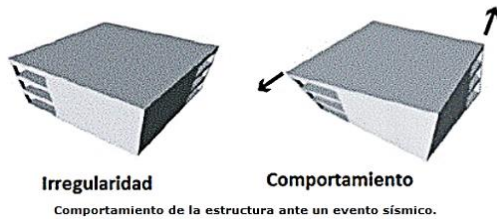
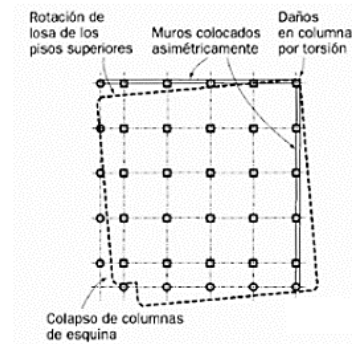
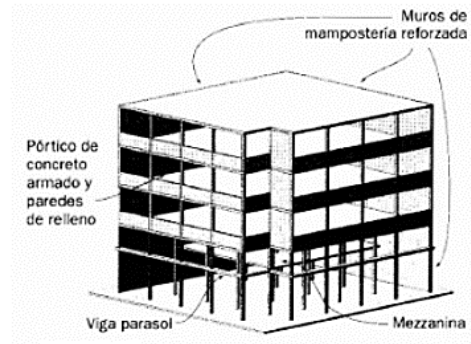
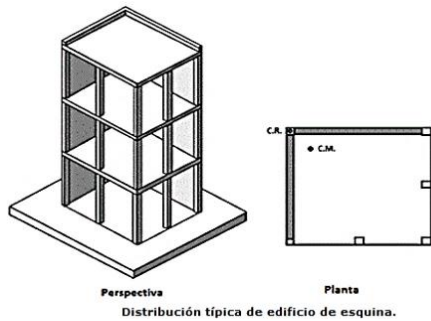
Losa de piso nivel planta baja



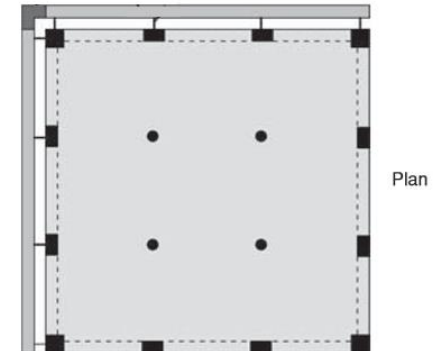
Losa de piso nivel mezzanina



Los edificios ubicados en esquinas, para dar mayor visibilidad y por razones de estética, generalmente **poseen las dos caras que dan hacia la calle con fachadas de vidrio y las dos caras interiores son muros de concreto armado**. Esta distribución es **inadecuada**, ya que genera una gran excentricidad entre el centro de masas y el centro de rigidez de la estructura, lo que podría generar un posible colapso.



Existen múltiples soluciones para este problema, una de ellas puede ser **rigidizar la fachada por medio de arriostramientos laterales** o se pueden **poner las columnas con menor separación entre sí, generando mayor rigidez** ante las solicitaciones sísmicas. Un ejemplo de rigidización de la fachada se muestra en el Edificio Manantiales en Santiago de Chile, donde se aprecian elementos estructurales que dan la sensación de estar dispuestos de forma aleatoria, pero en realidad la cantidad de elementos se dispuso según la solicitación de cada planta.

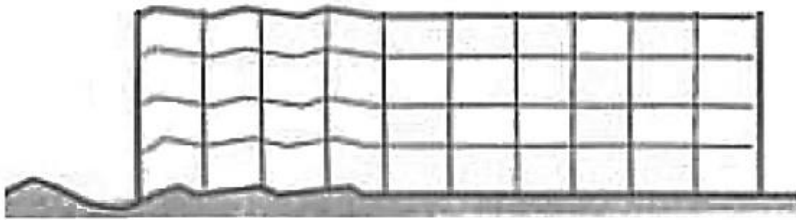


Una alternativa satisfactoria de configuración de un edificio con muros rígidos en esquina interior, es la separación de las paredes del resto de la estructura proporcionando marcos independientes para resistir las fuerzas sísmicas sin torsión.

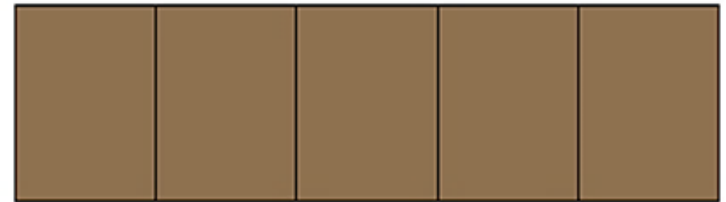
Uso de plantas muy alargadas

Se debe evitar el uso de plantas muy alargadas, ya que **mientras mayor es la longitud, mayor será la probabilidad de que actúen movimientos en el terreno distintos entre un extremo y otro, lo que origina mayores solicitaciones en la parte central del edificio.** Y por otro lado, se pierde la rigidez de la losa en su plano para trabajar como diafragma rígido y se aumentan las posibilidades de excentricidad en la distribución de rigideces. Algunas recomendaciones para evitar plantas alargadas.

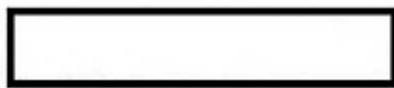
El correctivo usual para el problema de longitud excesiva de edificios **es la partición de la estructura en bloques por medio de la inserción de juntas de dilatación sísmica**, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser considerado como corto. Estas juntas deben ser diseñadas de manera tal que permitan un adecuado movimiento de cada bloque sin peligro de golpeteo o choque entre los diferentes cuerpos o bloques que componen la edificación



Movimiento diferente del suelo en los extremos del edificio.



La solución es dividir la planta con juntas constructivas para que cada bloque tenga un comportamiento independiente



Planta Original



Separación con
juntas sísmicas



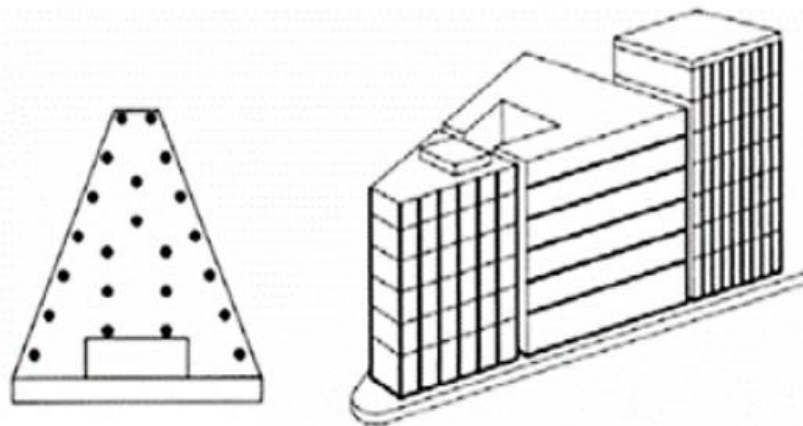
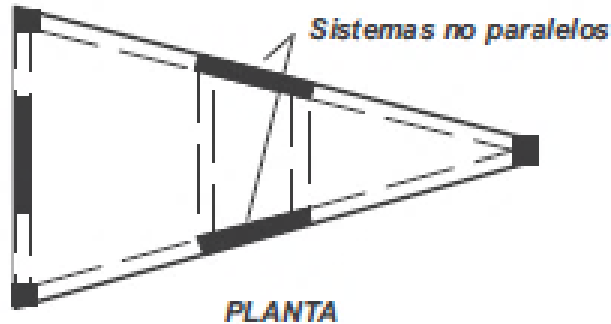
Distribución uniforme de elementos
resistentes transversales y sistema
de piso rígido en planta

Recomendaciones para plantas alargadas.

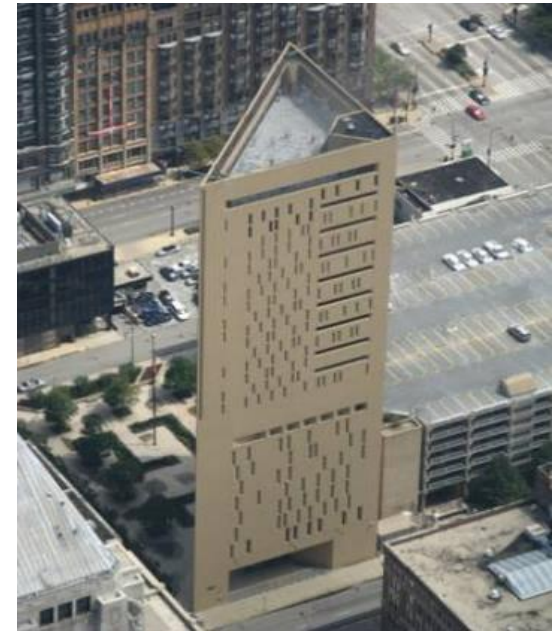
Sistemas estructurales no paralelos

Los edificios situados en zonas de alto riesgo sísmico deben evitar tener sistemas estructurales no paralelos. Ya que el sismo actúa en una dirección arbitraria y la estructura, al no poseer un sistema resistente ortogonal, termina siendo vulnerable en la dirección que haya menor resistencia.

Este problema se presenta generalmente en ciudades en donde existen cuadras que no tienen una forma rectangular y se terminan realizando edificios con la forma que posee el terreno.



Planta
Perspectiva del edificio
Planta de edificio con un sistema estructural no paralelo.

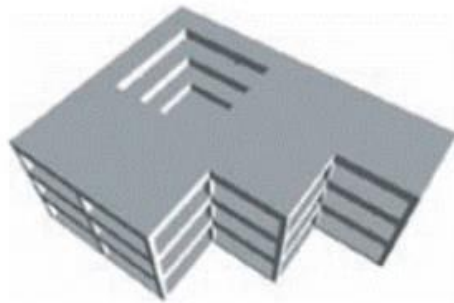


Prisión en Chicago, Illinois.

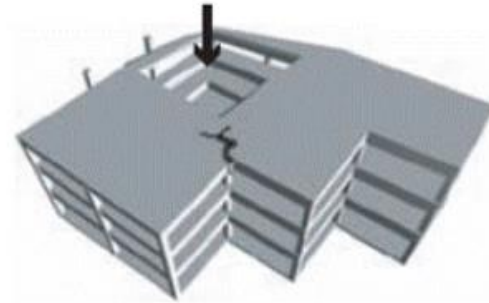
Sistemas estructurales conformados por vigas y columnas desvinculados de las losas de entrepiso

f) Se debe evitar que en los sistemas estructurales conformados por vigas y columnas existan elementos desvinculados de las losas de entrepiso. Esto generalmente sucede cuando el edificio posee una forma irregular y se desea conectar algunas esquinas salientes, con el objetivo de darle una forma más compacta a la edificación.

Pero lo que en realidad sucede, es que **estos elementos**, especialmente cuando se han dispuesto columnas, **terminan generándole solicitaciones adicionales a la estructura**, ya que estos vibran de manera aislada por no estar conectados a ella mediante el diafragma rígido.



Irregularidad



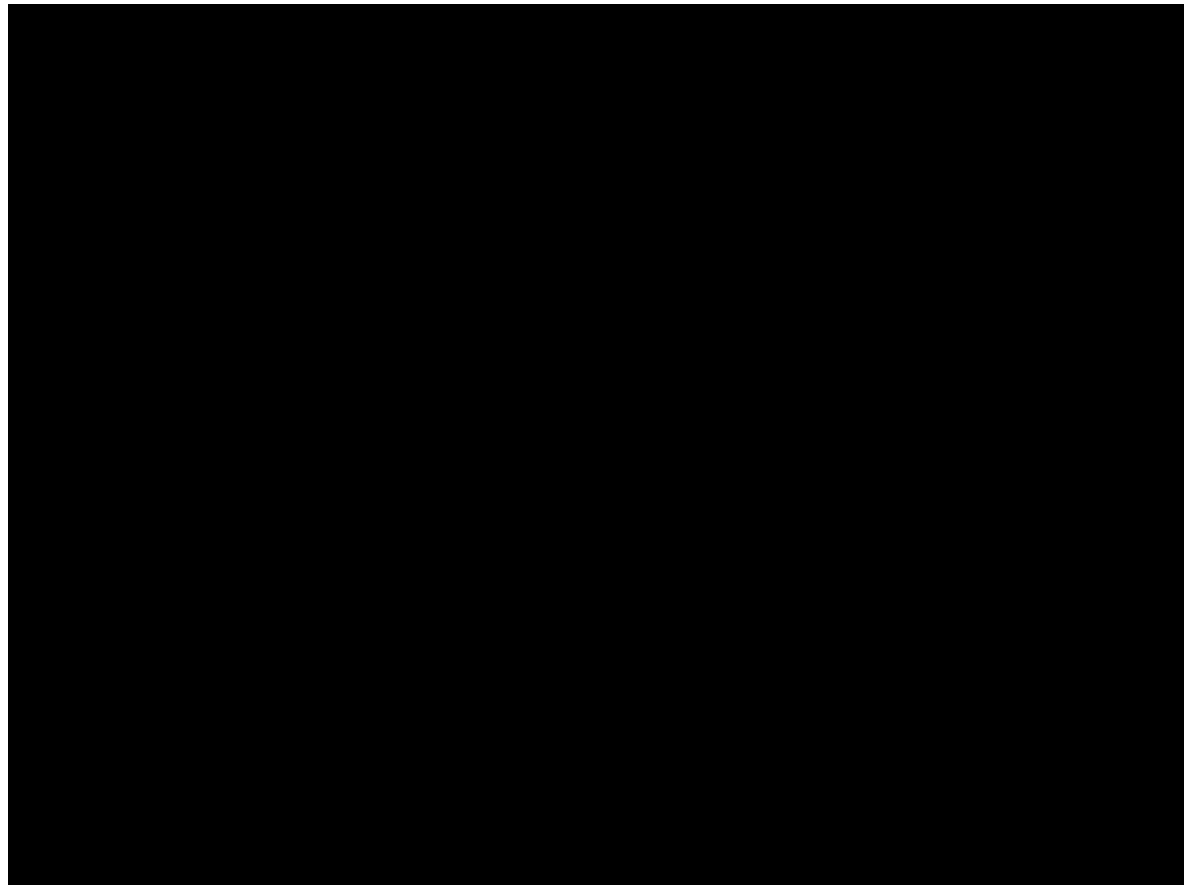
Comportamiento

Comportamiento de estructura con elementos desvinculados a la losa de entrepiso.



Residencias Ayacucho, Mérida, Venezuela.

Protección sísmica para edificios altos

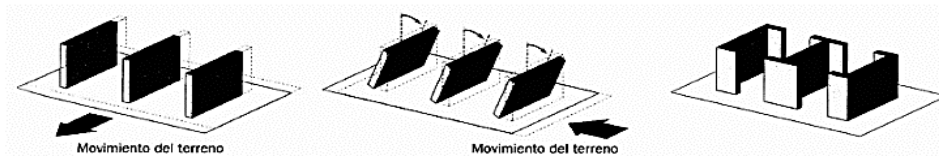


Localización de muros de cortante

Configuración esquemática	Elementos resistentes para fuerzas sísmicas \leftrightarrow	Elementos resistentes para fuerzas sísmicas \updownarrow	Elementos resistentes para torsión \curvearrowright

Elementos resistentes para resistir la traslación y la rotación

Soluciones de refuerzo	Beneficios
Muros incorporados	Aumento de resistencia y reducción de la deriva
Adición de diagonales o arriostramientos	Aumento de resistencia y reducción de la deriva
Adición de contrafuertes	Confinamiento y reducción de la deriva
Adición de pórtico interior o exterior resistente al momento	Confinamiento y reducción de la deriva
Rehabilitación completa	Alta capacidad sismo resistente y control de daño convencional
Aislamiento en la base del edificio	Protección de la edificación mediante el control del daño



Las plantas se pueden concebir como conjuntos de elementos resistentes con diversas orientaciones para resistir la traslación y con distancias variables al centro de rigidez para resistir la rotación, o torsión.
(Tomado de Configuración y Diseño Sísmico de Edificios, Christopher Arnold y Robert Reitherman, 1987, pág.54)

Cuál cree usted que sería el comportamiento de estos edificios con la configuración que presentan, **situados en zonas de alto riesgo sísmico?**

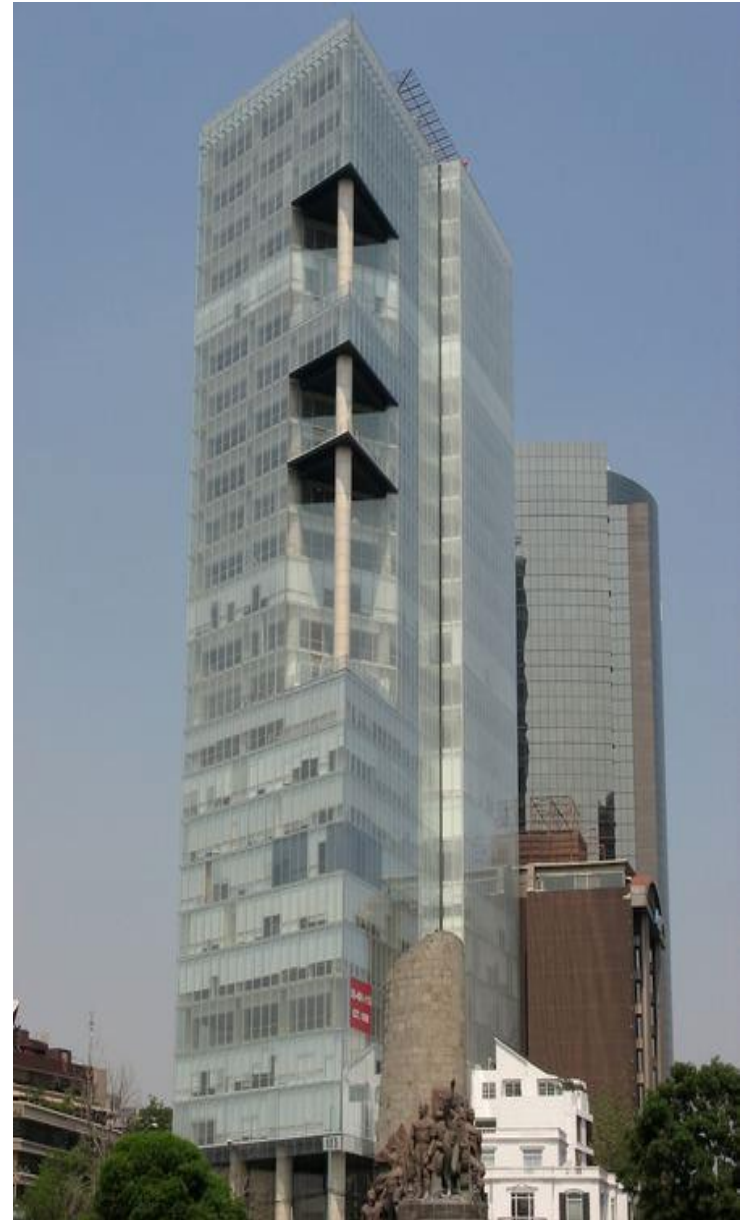




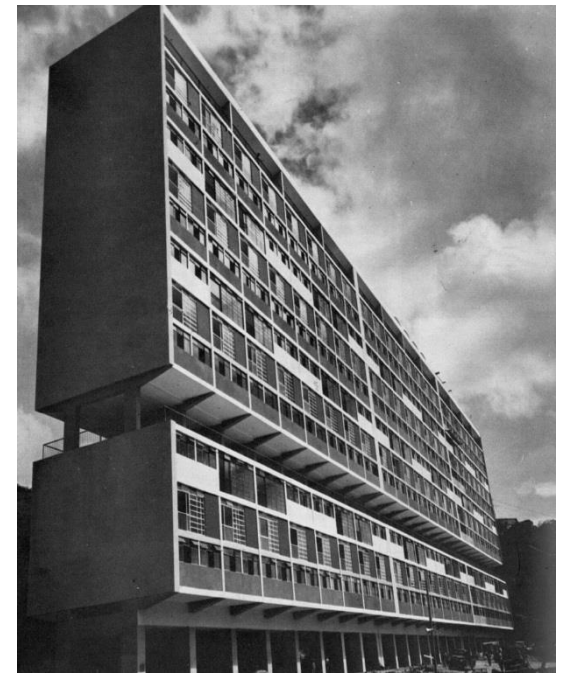
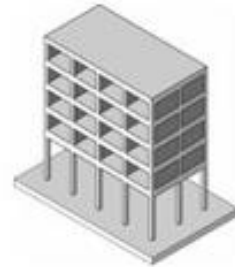


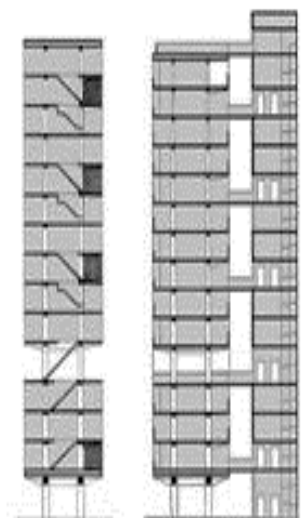
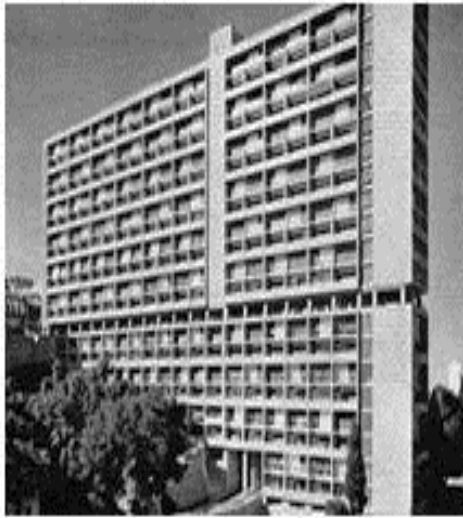
















El edificio Itam fue galardonado en los Premios AsBea 2012, Categoría Edificios y Conjuntos Residenciales (Sao Paulo ,Brazil)



PROHIBIDA LA VENTA
DONADO PARA FINES EDUCACIONALES

**NO SABEMOS SI
HOY VA A TEMBLAR**

Por favor hacerlo circular, no
sabemos cuantas vidas se
pueden salvar en caso de una
emergencia de este estilo.

Gracias por su atención

MESN- 2023

Bibliografía

Guevara, Perez, Teresa. **Arquitectura moderna en zonas sísmica**. Editora Gustavo Gili, SL Barcelona, 2009.

Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud (Pan American Health Organization (PAHO) / Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1999, 136 p.).

Mitigación de desastres en las instalaciones de salud- Volumen 4 : Aspectos de Ingenieria (OPS; 1993; 87 paginas).
<http://helid.digicollection.org/en/d/Jm0057s/9.1.html>

EN RIESGO: El Desempeño Sísmico de los Edificios de Marcos de Concreto Reforzado Rellenos con Paredes de Mampostería. Un tutorial desarrollado por un comité de la World Housing Encyclopedia. Un proyecto del “Earthquake Engineering Research Institute” y de la “International Association for Earthquake Engineering”
<http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/08/RC-Frame-Tutorial-Spanish-Murty-bis-bis-bis.pdf>

CRITERIOS ESTRUCTURALES

<http://www.civil.cicloides.com/cestructurales/2.2.2/>
<http://www.civil.cicloides.com/cestructurales/2.2.3>

UNIVERSIDAD de COSTA RICA ,**Laboratorio de Ingeniería Sísmica**, del Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII),
Articulo: 25, publicado el 2011-9-19.

Irregularidad de Estructura en Planta y Elevación

<https://es.slideshare.net/rolylegolas/irregularidad-de-estructura-en-planta-y-elevacin>
<http://www.redalyc.org/html/1939/193932724001/> >>>**Períodos de vibración de la edificaciones**
<https://www.ambher.com/infraestructura/resonancia-en-estructuras>
<http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=25>

<http://www.civil.cicloides.com/cestructurales/2.2.4/>

Definiciones: http://www.ciifen-int.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=111&lang=es

Imágenes y videos, www.Google.com

SISMO
VIVIMOS EN UNA ZONA SÍSMICA;
NOS CONVIENE SABER QUÉ HACER EN CASO DE UN TERREMOTO

ANTES	SI USTED SE ENCUENTRA...	DESPUÉS
<p>1 Platique en el hogar acerca de los sismos o posibles desastres y formule un plan de protección civil.</p> <p>2 Participe y organice en su casa programas de preparación para futuros sismos que incluyan simulacros de evacuación.</p> <p>3 Cumpla las normas de construcción y uso del suelo establecidas.</p> <p>4 Recorra a técnicos y especialistas para la construcción o reparación de su vivienda, de este modo tendrá mayor seguridad ante un sismo.</p> <p>5 Ubique y revise periódicamente, el buen estado las instalaciones de gas, agua, y el sistema eléctrico. Use accesorios con conexiones flexibles y aprenda a desconectarlos.</p> <p>6 Fije a la pared; repisas, cuadros, armarios, estantes, espejos y libreros. Evite colocar objetos pesados en la parte superior de éstos, además asegure al techo las lámparas y candelas.</p> <p>7 Tenga a la mano los números telefónicos de emergencia, un botiquín, de ser posible un radio portátil y una linterna con pilas.</p> <p>8 Porte siempre su identificación.</p>	<p style="text-align: center;">BAJO TECHO EN EL HOGAR, LA ESCUELA O EL CENTRO DE TRABAJO</p> <p>1 Conserve la calma y tranquilice a las personas de su alrededor.</p> <p>2 Si tiene la oportunidad de salir rápidamente del inmueble hágalo inmediatamente, pero en orden. Recuerde: no grite, no empuje, no corra y diríjase a una zona segura.</p> <p>3 No utilice los elevadores.</p> <p>4 Alejese de libreros, vitrinas, estantes u otros muebles que puedan deslizarse o caerse; así como de las ventanas, espejos y tragaluces.</p> <p>5 En caso de encontrarse lejos de una salida, ubíquese debajo de una mesa o escritorio resistente, que no sea de vidrio, cúbrase con ambas manos la cabeza y colóquelas junto a las rodillas o diríjase a alguna esquina, columna o colóquese bajo el marco de una puerta.</p> <p>6 Una vez terminado el sismo, desaloje el inmueble y recuerde: no grite, no corra, no empuje.</p> <p style="text-align: center;">EN LA CALLE</p> <p>1 Alejese de edificios, muros, postes, cables y otros objetos que puedan caerse, evite pararse sobre coladeras y registros.</p> <p>2 De ser posible, vaya a un área abierta lejos de peligros y quédese ahí hasta que termine de temblar.</p> <p style="text-align: center;">EN LUGARES DONDE HAY MUCHA GENTE</p> <p>1 Si se encuentra en un cine, tienda o cualquier lugar muy congestionado y no tiene una salida próxima, quédese en su lugar y cúbrase la cabeza con ambas manos y dóblese sobre sus rodillas.</p>	<p>1 Efectúe con mucho cuidado una completa verificación de los posibles daños de la casa.</p> <p>2 No hacer uso del inmueble si presenta daños visibles.</p> <p>3 No encienda cerillos, velas, aparatos de flama abierta o aparatos eléctricos, hasta asegurarse que no hay fuga de gas.</p> <p>4 En caso de fugas de agua o gas, repártelos inmediatamente.</p> <p>5 Compruebe si hay incendio o peligro de incendio y repórtalo a los bomberos.</p> <p>6 Verifique si hay lesionados y busque ayuda médica de ser necesaria.</p> <p>7 Evite tocar o pisar cualquier cable suelto o caído.</p> <p>8 Limpie inmediatamente líquidos derramados como medicinas, materiales inflamables o tóxicos.</p> <p>9 No coma ni beba nada contenido en recipientes abiertos que hayan tenido contacto con vidrios rotos.</p> <p>10 No use el teléfono excepto para llamadas de emergencia. Encienda la radio para enterarse de los daños y recibir información. Colabore con las autoridades.</p> <p>11 Esté preparado para futuros sismos (llamados réplicas). Las "Réplicas" generalmente son más leves que la sacudida principal, pero pueden ocasionar daños adicionales.</p> <p>12 No propague rumores.</p> <p>13 Alejese de los edificios dañados.</p> <p>14 Verifique los roperos, estantes y alacenas; ábralos cuidadosamente, ya que le puedan caer los objetos encima.</p> <p>15 En caso de quedar atrapado, conserve la calma y trate de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.</p>

