

Crust

Water

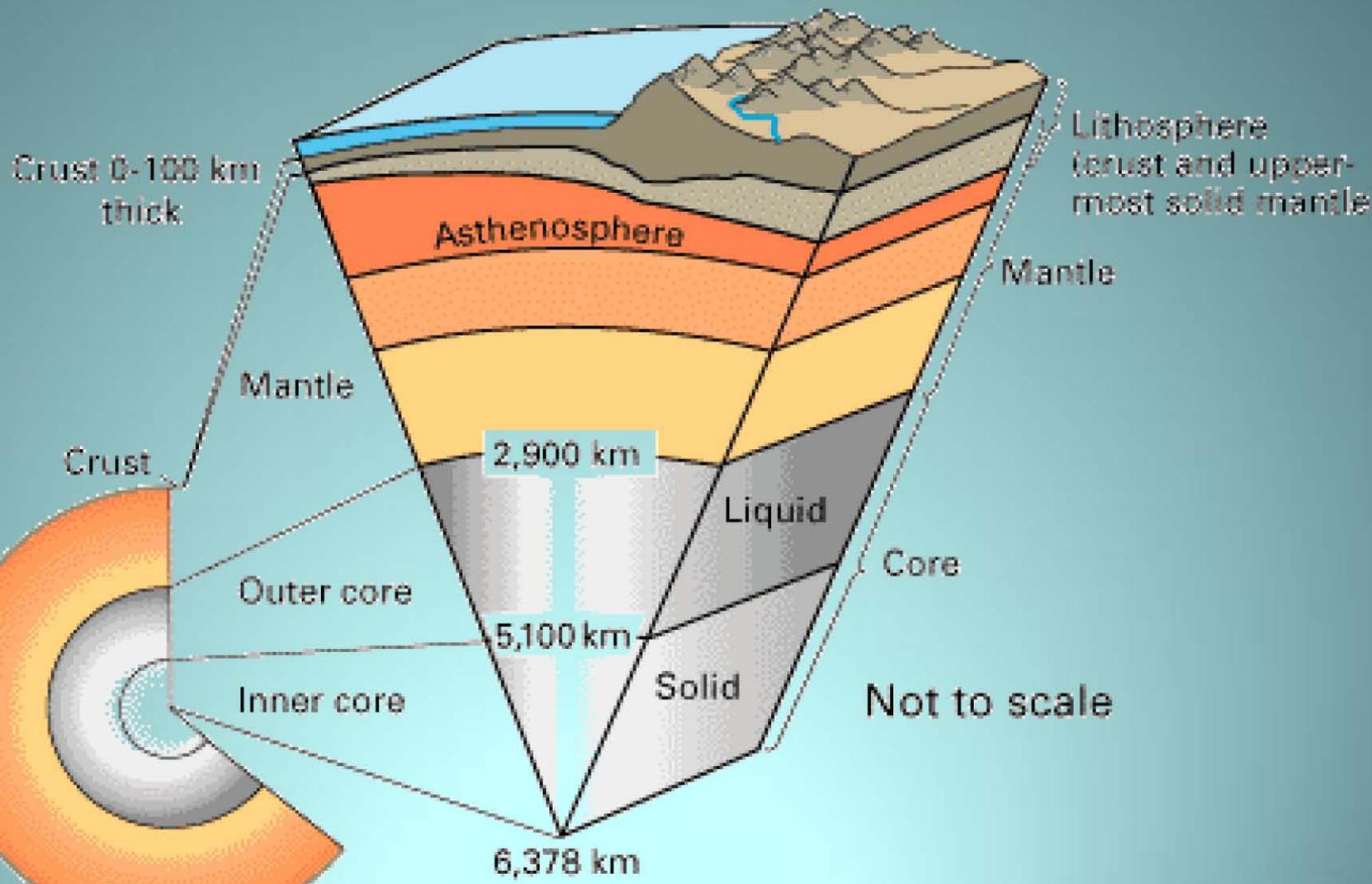
Upper mantle

Transition zone

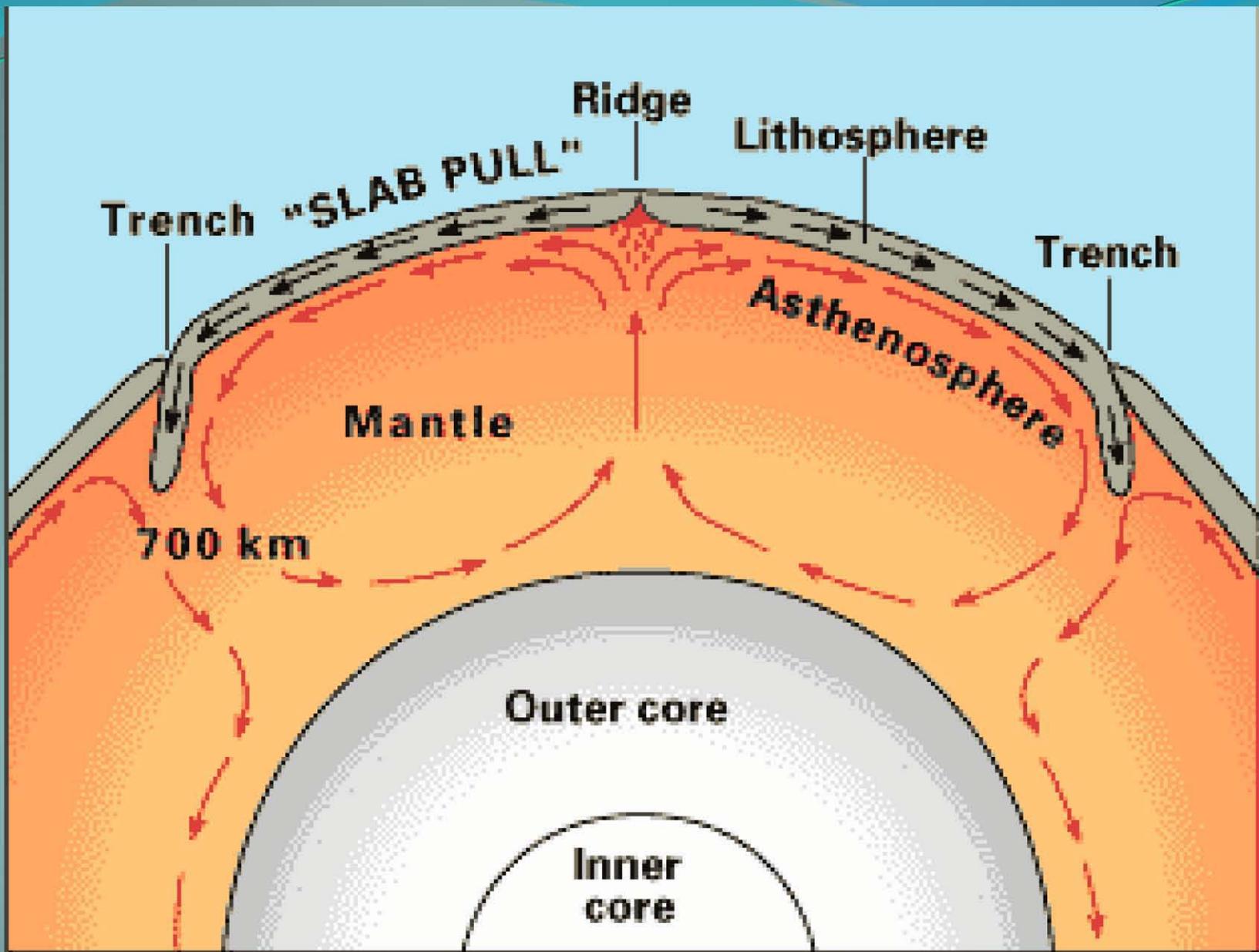
Lower mantle

Outer core

Inner core

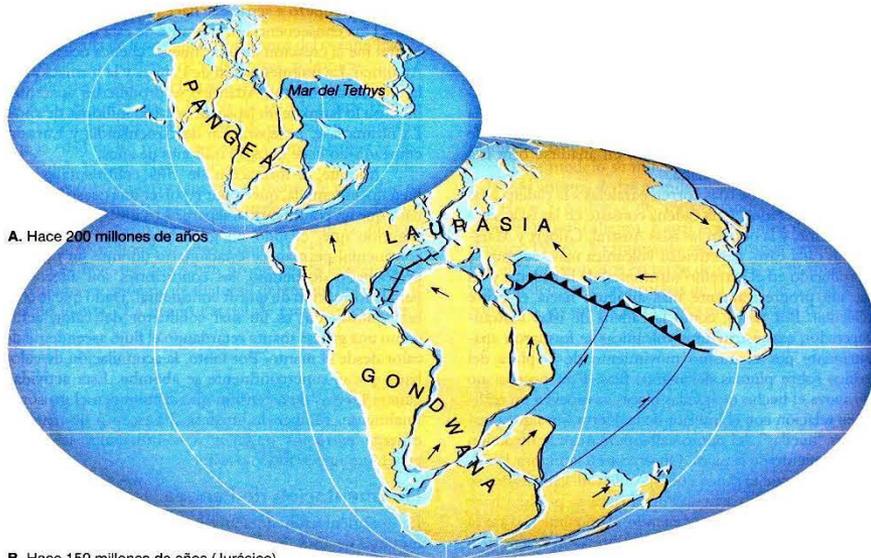


To scale

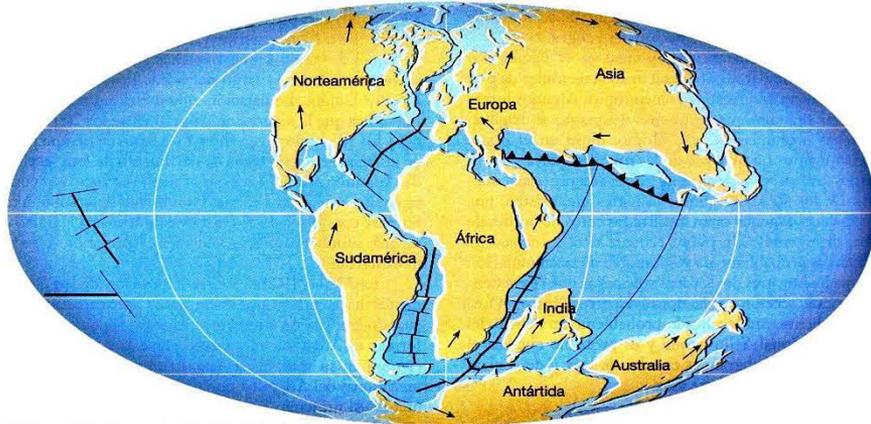


TECTONICA DE PLACAS

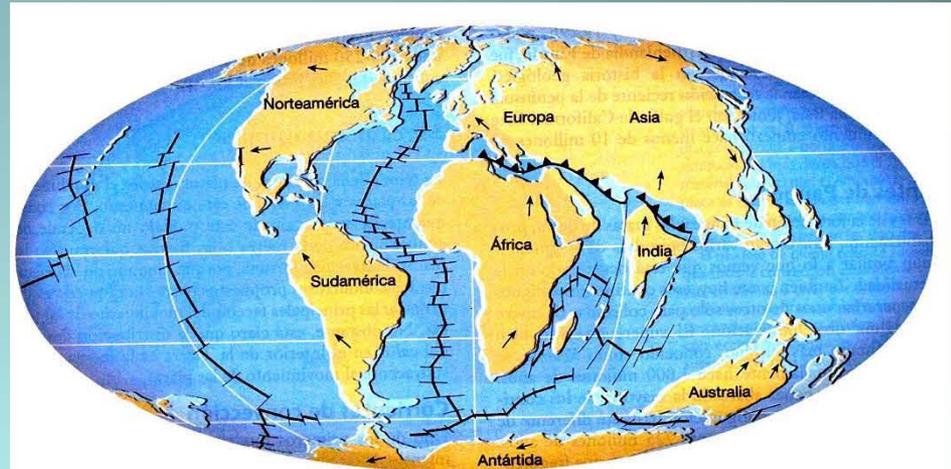
DERIVA CONTINENTAL



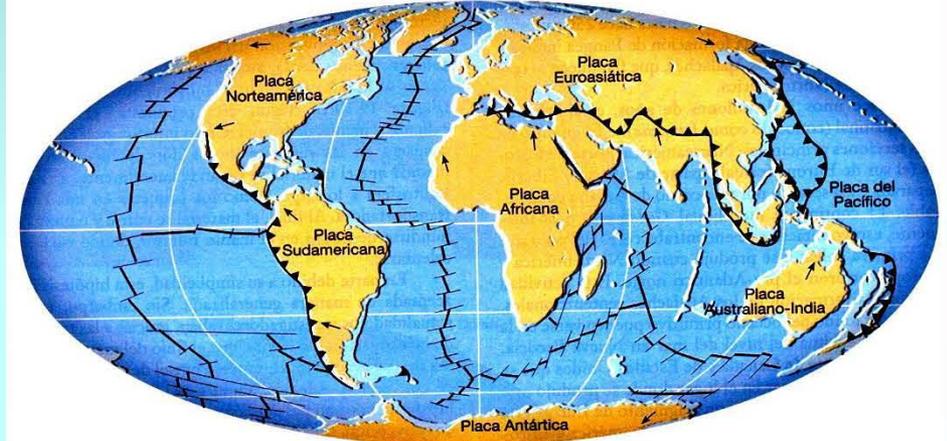
B. Hace 150 millones de años (Jurásico)



C. Hace 100 millones de años (Cretácico)



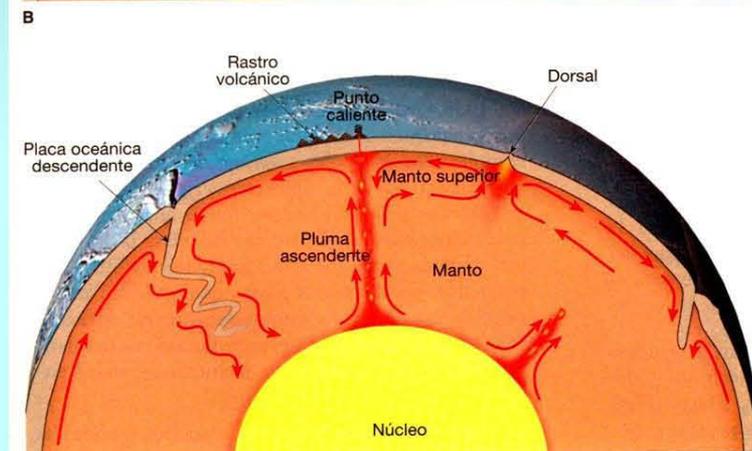
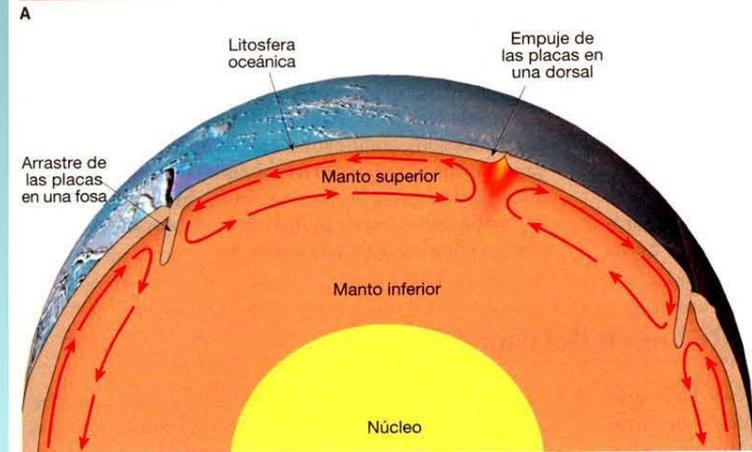
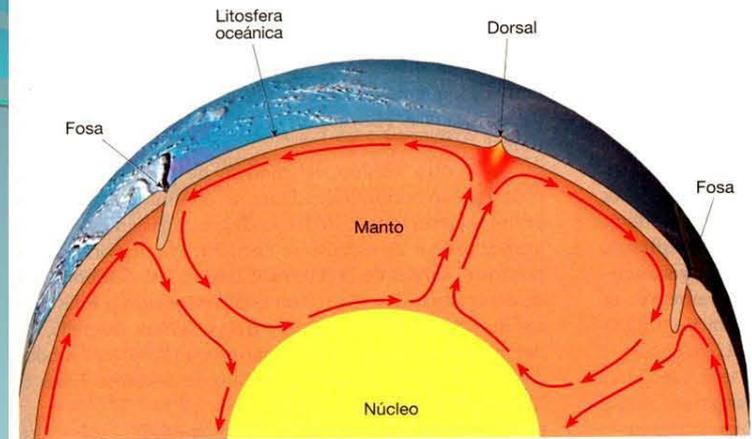
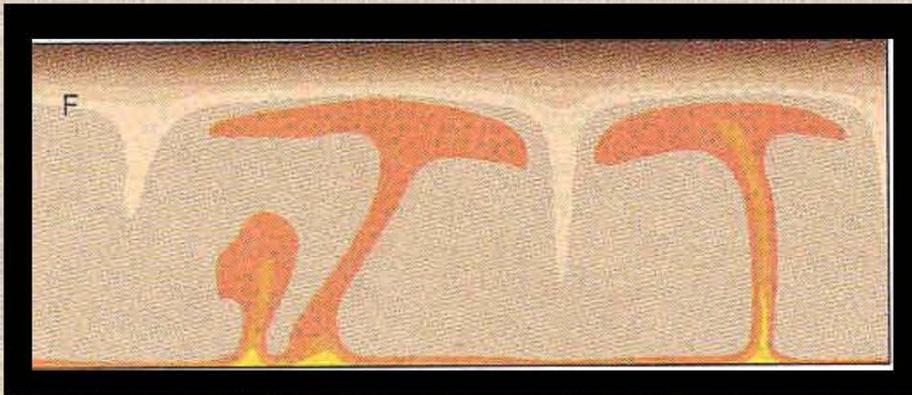
E. Presente



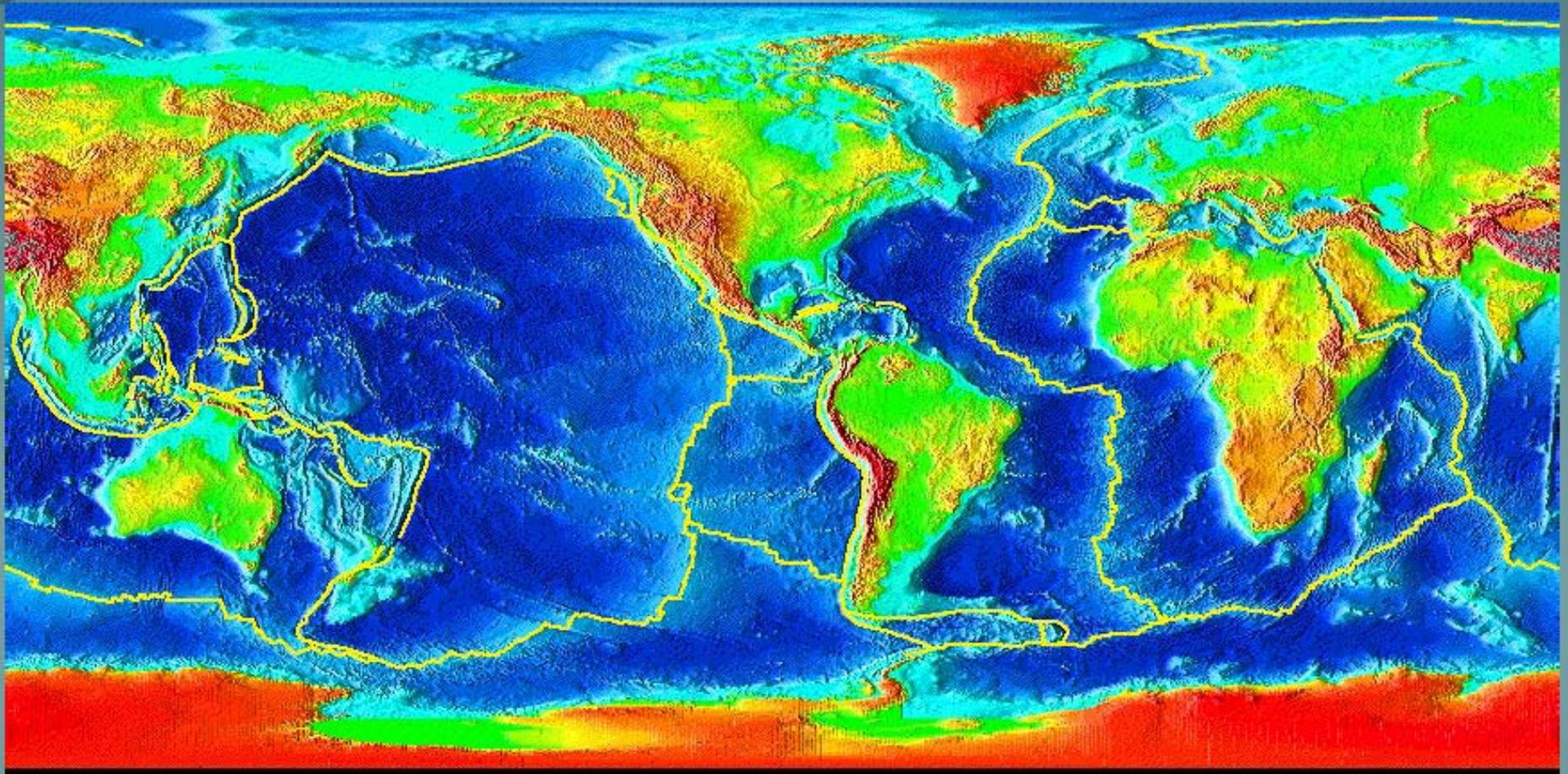
E. Presente

TECTONICA DE PLACAS

La **convección** del manto: motor de la tectónica de placas

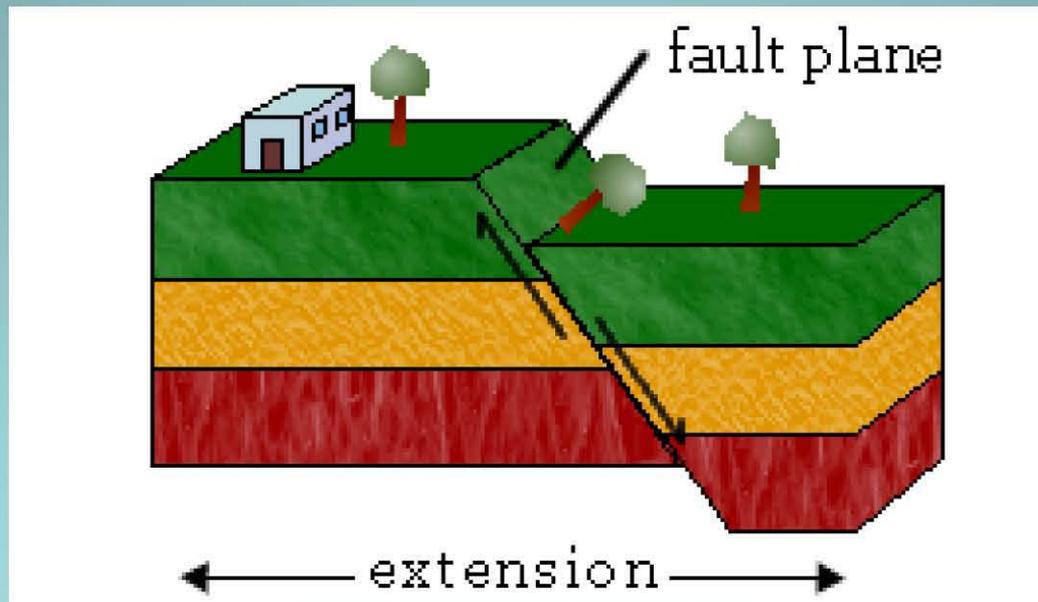


C

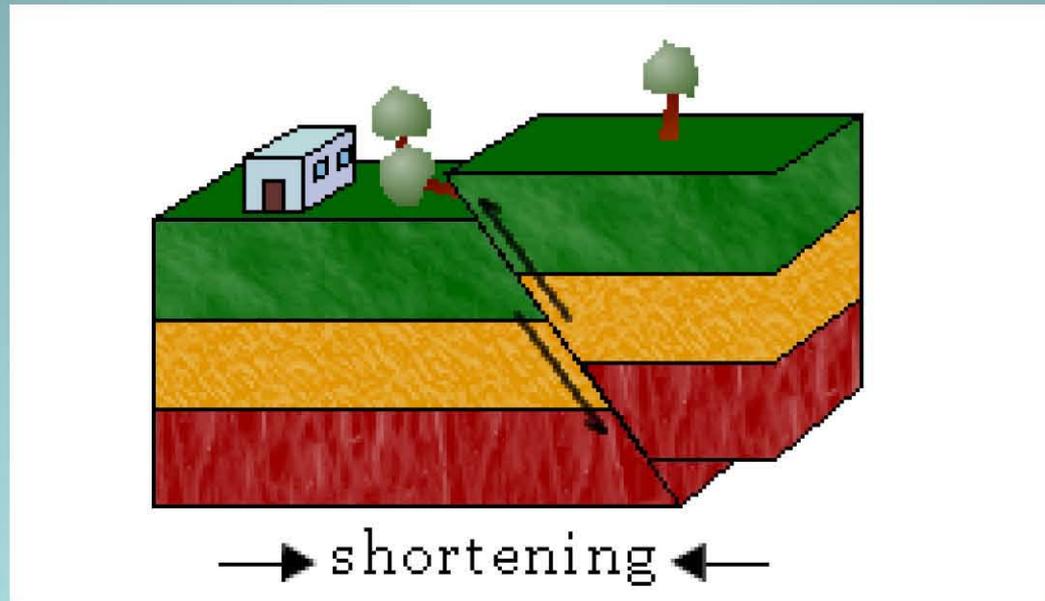


FALLAS

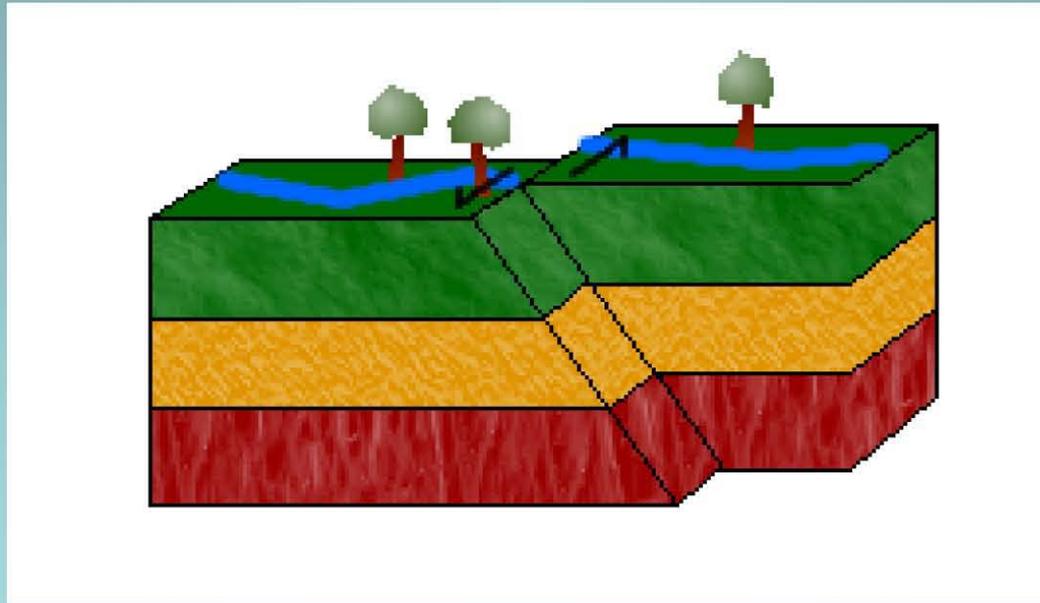
FALLA NORMAL



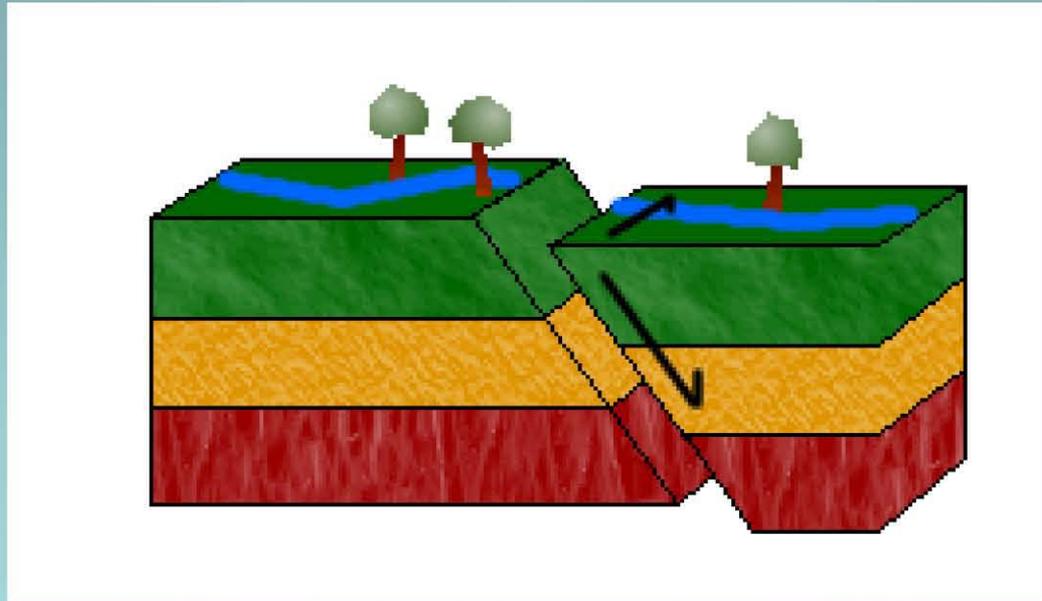
FALLA INVERSA



FALLA TRANSCURRENTE

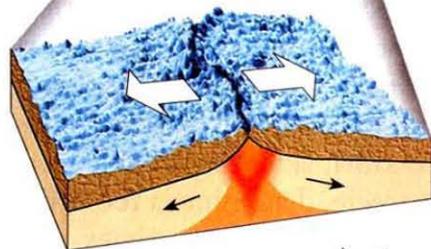
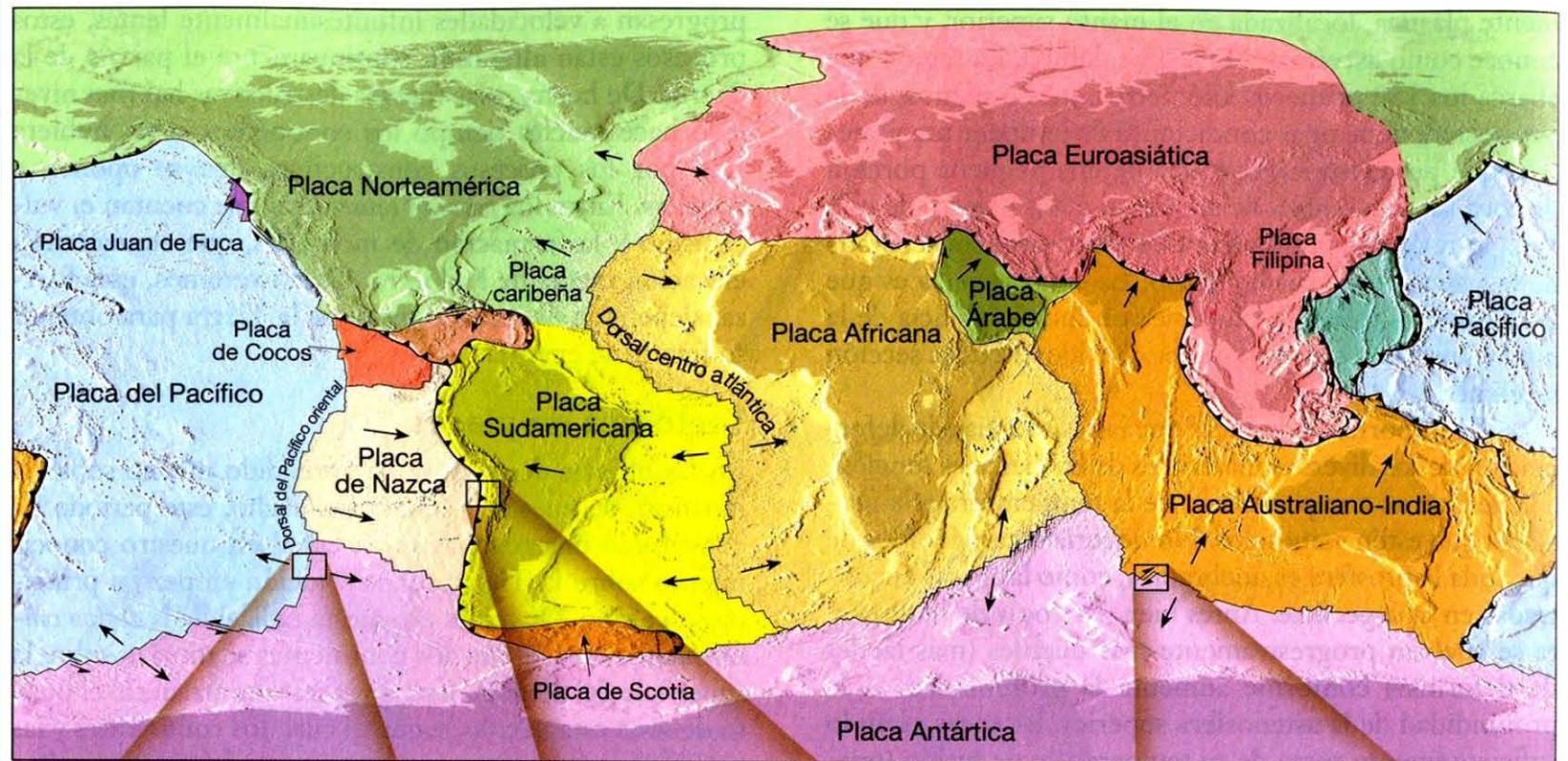


FALLA OBLICUA

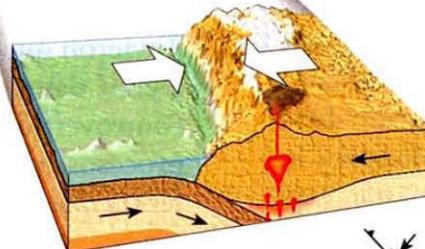


TECTONICA DE PLACAS

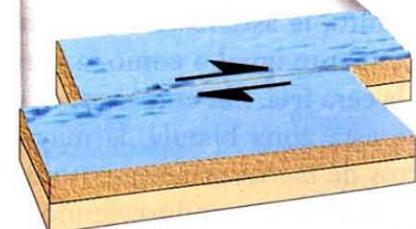
Tipos de límite de placas



A. Límite divergente



B. Límite convergente



C. Límite de falla transformante



TECTONICA DE PLACAS

Tipos de convergencia

a. Oceánica - Continental.

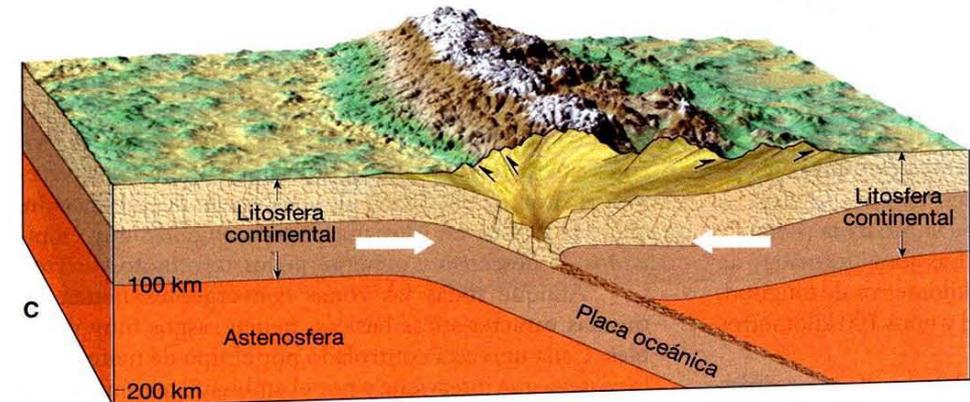
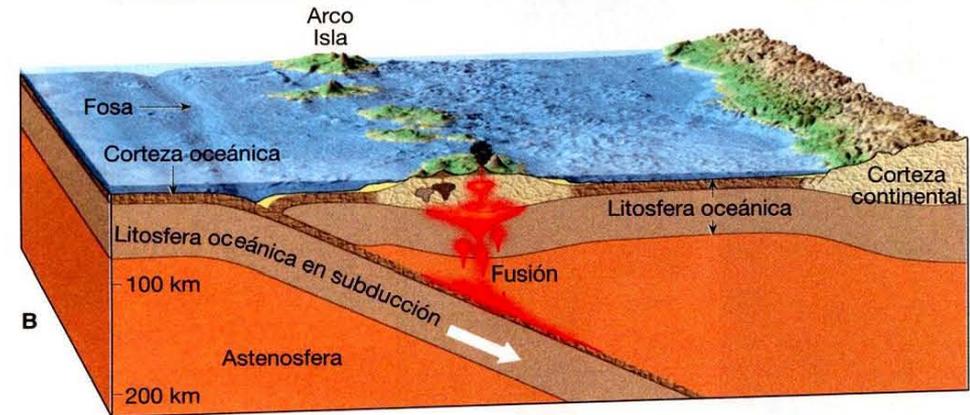
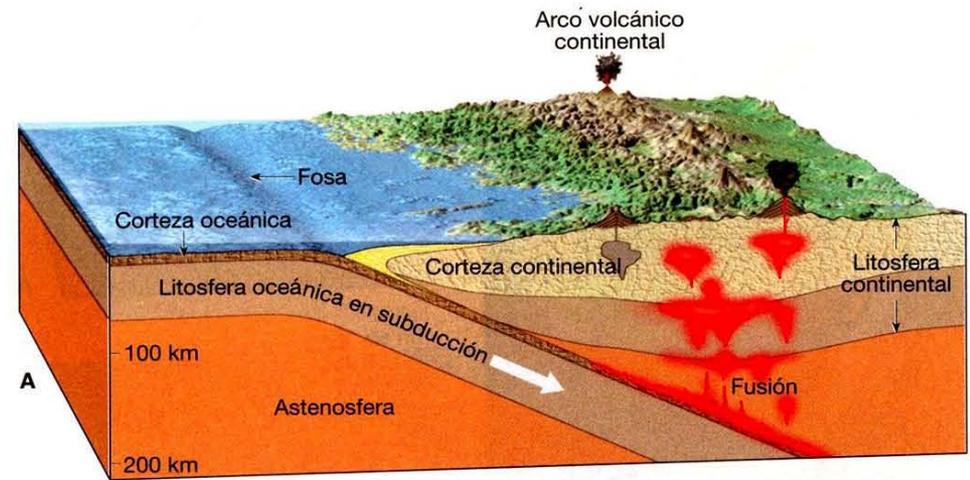
Ejemplos: *costa W de América del Sur.*

b. Oceánica - Oceánica.

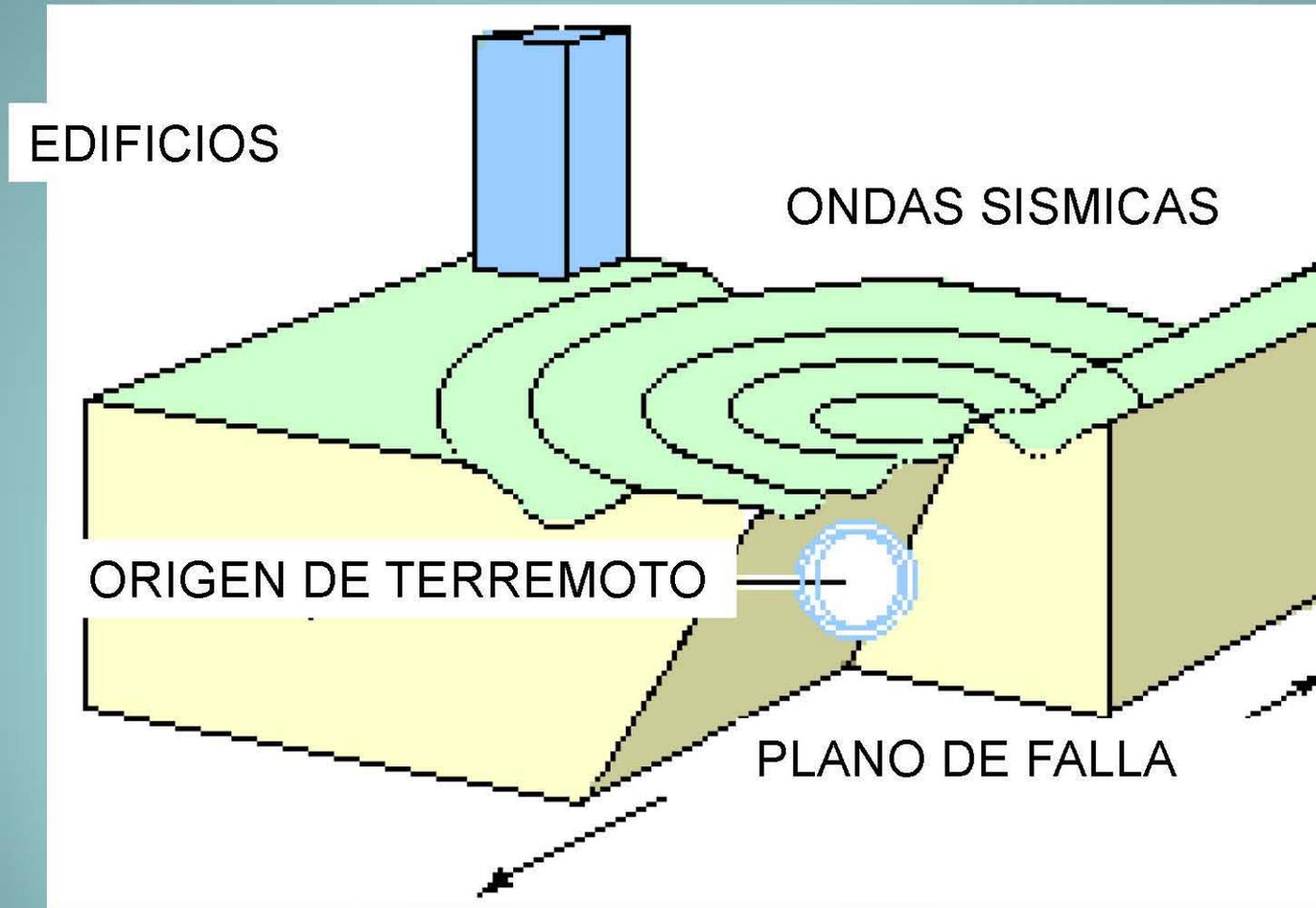
Ejemplos: *Marianas, Aleutianas, Tonga.*

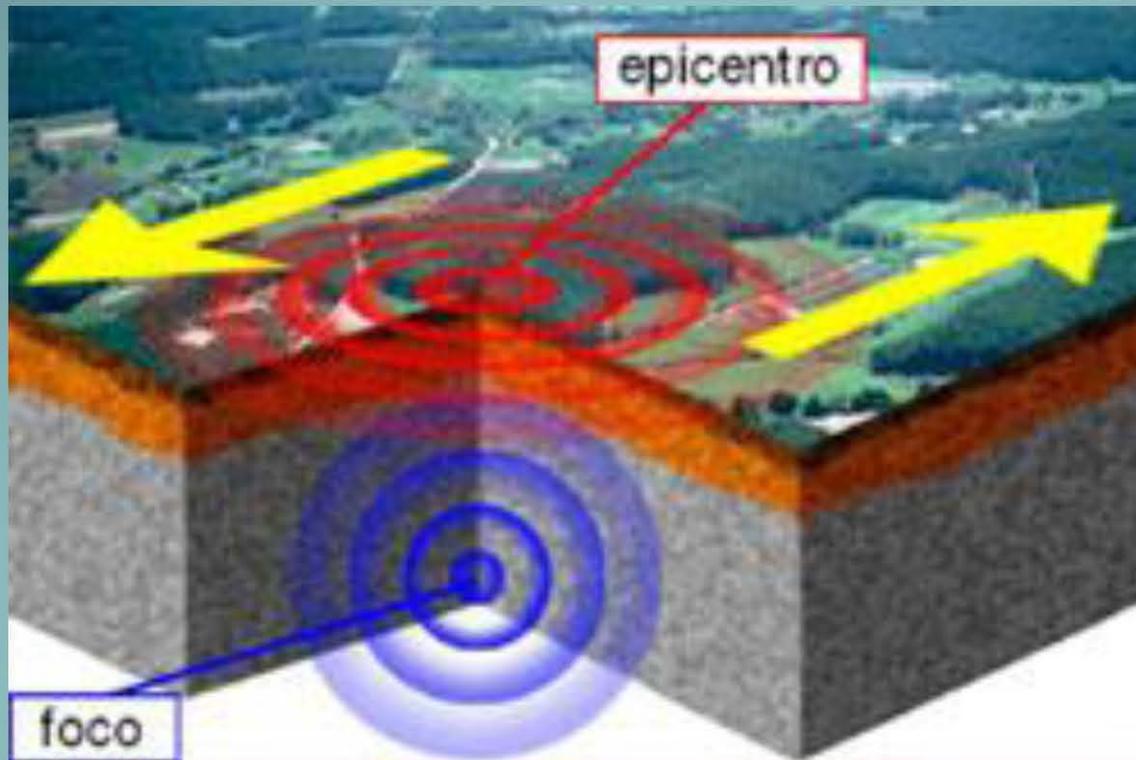
c. Continental - continental

Ejemplos: *Himalayas, Alpes, Apalaches.*



Los terremotos pueden definirse como movimientos caóticos de la corteza terrestre debido a un choque, por fricción entre fallas, producido a una cierta profundidad bajo la superficie terrestre.





Hipocentro, zona interior profunda, donde se produce el terremoto.

epicentro, área de la superficie perpendicular al hipocentro, donde repercuten con mayor intensidad las ondas sísmicas.

Aspectos formales de la estructura

Los sismos han demostrado repetidamente que las estructuras más simples tienen la mayor oportunidad de sobrevivir.

Teniendo en cuenta que el sismo es un hecho físico eminentemente dinámico, para que el método estático mencionado anteriormente sea representativo, es necesario contar con cierta **SIMETRÍA ESTRUCTURAL: REGULARIDAD EN PLANTA Y EN ALTURA**. Si esto no ocurre, no se puede predecir el comportamiento del edificio diseñado y los cálculos que se realicen posiblemente no tengan mucho que ver con la realidad.

Por lo enunciado precedentemente, se hace necesario plantear algunos principios básicos para la selección de sistemas estructurales para los edificios ubicados en zonas sísmicas.

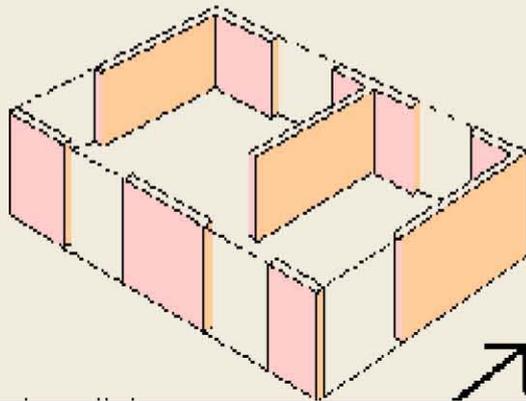
La estructura debe:

- ser simple;
- ser simétrica;
- no ser demasiado alargada en planta o elevación;
- tener los planos resistentes distribuidos en forma uniforme;
- tener elementos estructurales horizontales en los cuales se formen articulaciones antes que en los elementos verticales;
- haber sido proyectada de modo tal que los elementos estructurales se relacionen de manera de permitir el buen detallado de las uniones.

SISTEMAS ESTRUCTURALES RESISTENTES A FUERZAS LATERALES

La mayoría de los sistemas estructurales de edificios lateralmente resistentes consisten en alguna combinación de elementos verticales con elementos horizontales o inclinados. Los elementos verticales más comunes son los muros de mampostería con la tecnología adecuada para resistir fuerzas laterales en su plano, las triangulaciones y los marcos rígidos o pórticos. El elemento horizontal más frecuente es la estructura de cubierta o entrepiso, con suficiente resistencia y rigidez para crear un plano indeformable denominado **diafragma**. Éste funciona recibiendo fuerzas horizontales en un nivel determinado del edificio y distribuyéndolas entre los elementos verticales del sistema lateralmente resistente.

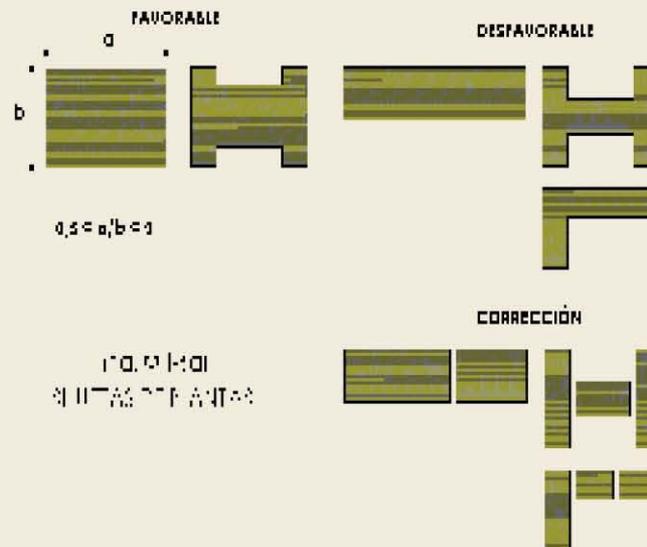
Planos verticales



En la figura MII-3 se ilustra un ejemplo donde los planos verticales resistentes a fuerzas laterales están distribuidos simétricamente haciendo que la resultante de las reacciones producidas por los muros coincida con el centro de masas de la planta donde estaría aplicada la acción.

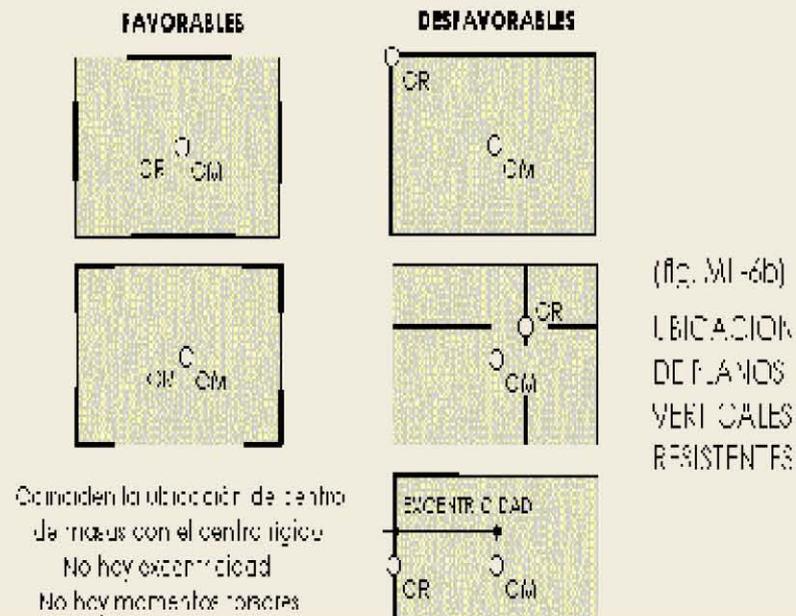
Configuración en planta

Se ha hablado de la necesidad de proyectar plantas estructurales regulares, con el fin de poder predecir su comportamiento, con el método basado en efectos estáticos equivalentes (fuerzas hipotéticas que producen, en la construcción, los mismos efectos que la acción sísmica). En la figura MII-6a se ilustran, en forma cualitativa, las disposiciones en planta que resultan recomendables y las que son inconvenientes.



La posición de los planos resistentes en la planta, y en relación al centro de masas, puede producir situaciones desfavorables desde el

La posición de los planos resistentes en la planta, y con relación al centro de masas, puede producir situaciones desfavorables desde el punto de vista del diseño, generando torsiones iniciales importantes. En este caso se denominan torsiones de diseño. En la figura MII-6b se ejemplifican algunas situaciones.



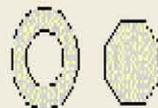
Mientras más largo sea la un edificio en planta, hay mayores posibilidades de que sus extremos se muevan en forma diferente, resultando difícil prever sus efectos, como se observa en la figura MII-6c.

PLANTAS

HÁGASE



EVÍTESE

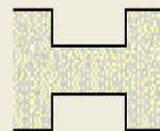
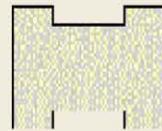


COMENTARIOS

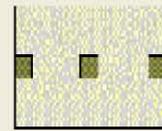
de tal por comportamiento y análisis

forma simétrica
Análisis menos fácil

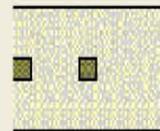
Tengase cuidado con el
comportamiento diferencial
en los extremos opuestos
de secciones largas



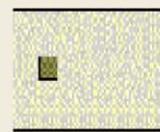
Aunque es métrica, las alas largas implican problemas en la predicción del comportamiento



Toros de acceso que se proyectan. Problemas con análisis y diseño



Asimétrico de los miembros resistentes
Problemas de análisis y diseño

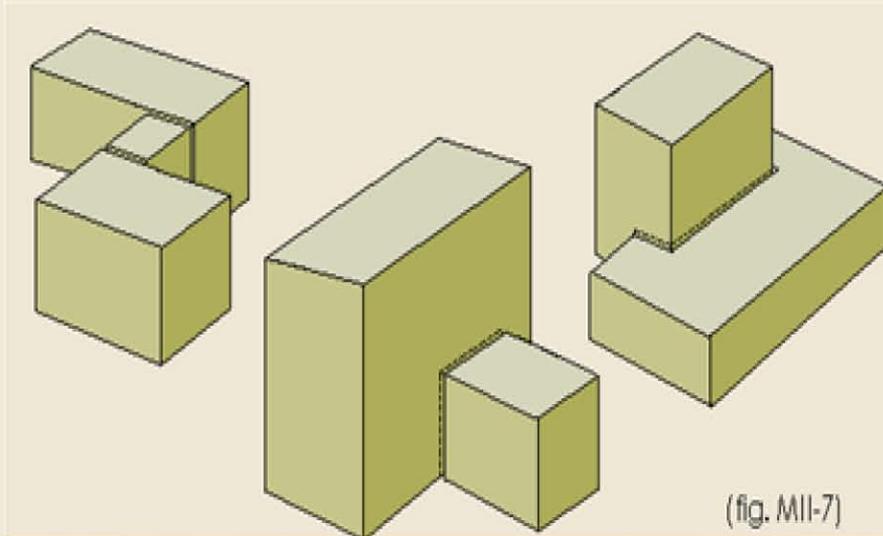


(G. Millán)

Las plantas asimétricas con salientes significativos con forma **L** o **T** bajo acciones sísmicas presentan vibraciones complejas. Las plantas en forma de **H** con salientes significativos a pesar de que poseen simetría presentan problemas, porque es difícil prever su comportamiento.

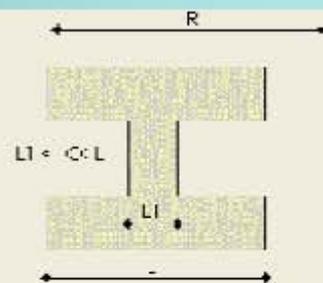
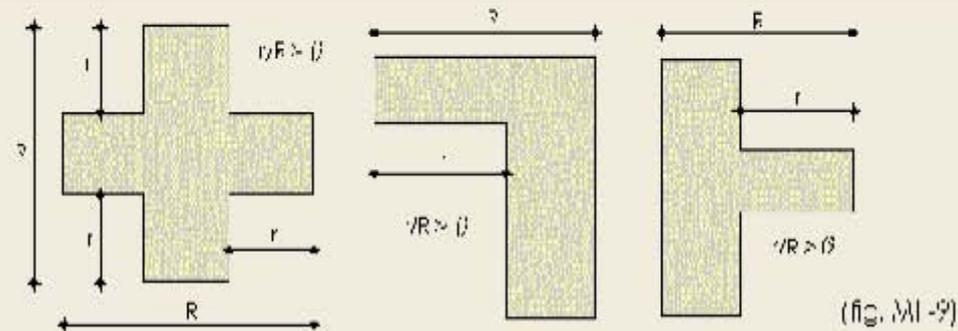
Uso de juntas de control

El método general de diseño para cargas laterales consiste en ligar toda la estructura para garantizar su movimiento como una unidad. Sin embargo, a veces, debido a la forma irregular o al gran tamaño del edificio, puede ser deseable controlar el comportamiento bajo cargas laterales mediante el uso de juntas de separación estructural, permitiendo el movimiento completamente independiente de las partes separadas del edificio (figura MII-7).



IRREGULARIDADES EN PLANTA

Geométricas



(fig. M1-9)

ZONAS	α	β
ALTA ACTIVIDAD SÍSMICA	0.90	0.15
MODERADA ACTIVIDAD SÍSMICA	0.70	0.20

en zonas de moderada actividad sísmica y construcciones bajas, se puede tomar:

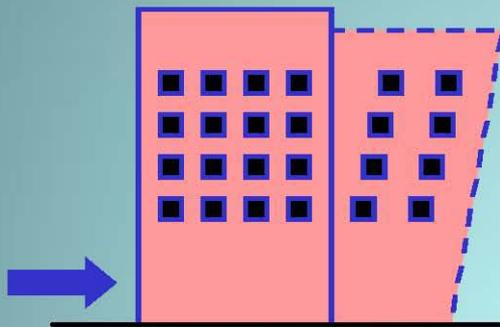
$$\alpha = 0.60$$

$$\beta = 0.40$$

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE COMPOSICIÓN DE FRECUENCIAS Y RESPUESTA DE ESTRUCTURAS

Cada edificio tiene un periodo natural en función de su altura.
Aproximación: cada piso añade 0.1 s a su periodo natural

—————→ 10 plantas, $T_n = 1\text{s}$



Ante un terremoto:
El edificio vibra hacia delante y hacia atrás, describiendo un ciclo completo en el tiempo de su periodo natural

Cuando el periodo del movimiento y el periodo del edificio son similares, se produce **amplificación por resonancia**

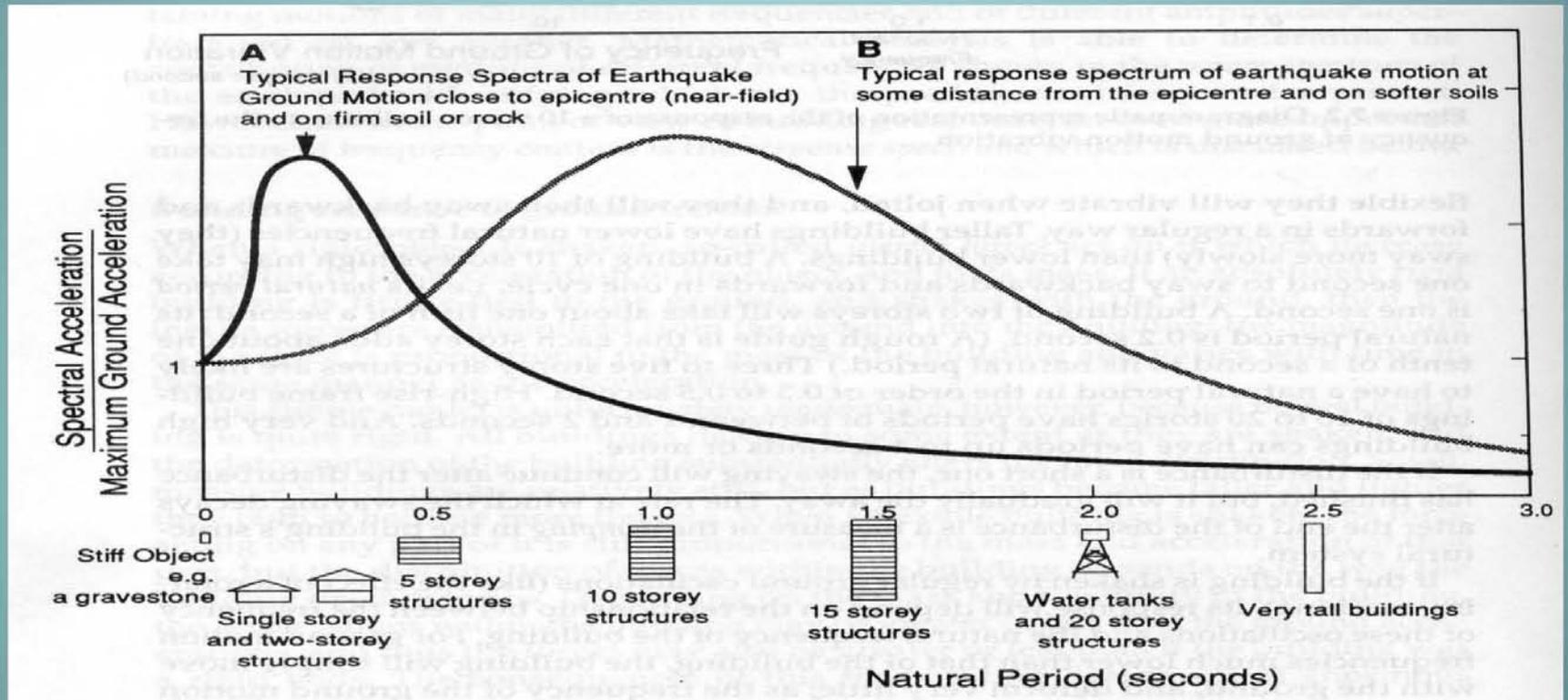
La rigidez y flexibilidad del edificio (función de su altura) determina la relación entre el movimiento de entrada y la respuesta de la estructura

ESPECTROS TÍPICOS DE RESPUESTA A DIFERENTES DISTANCIAS Y SUELOS

Campo próximo y roca \Rightarrow mayor daño a estructuras rígidas (bajas)

Campo lejano y suelos blandos \Rightarrow mayor daño a estructuras flexibles (más altas)

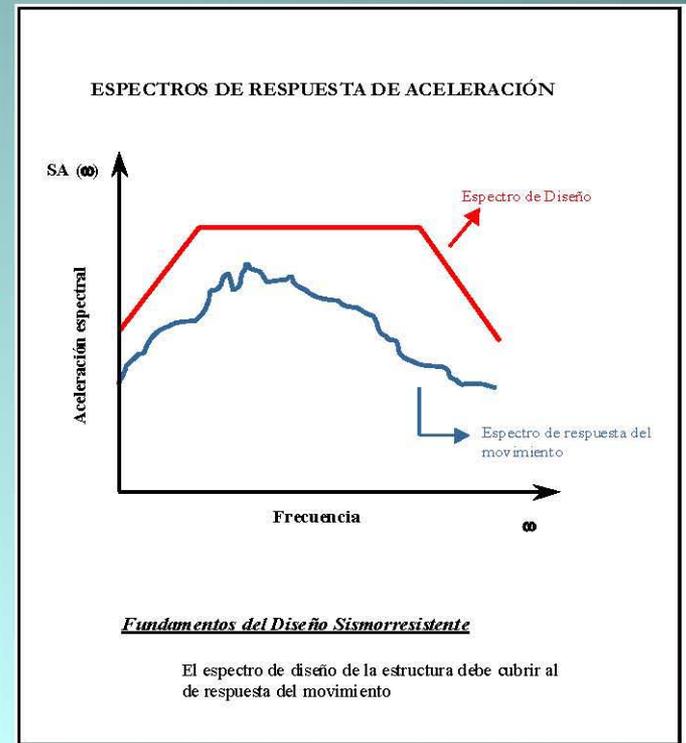
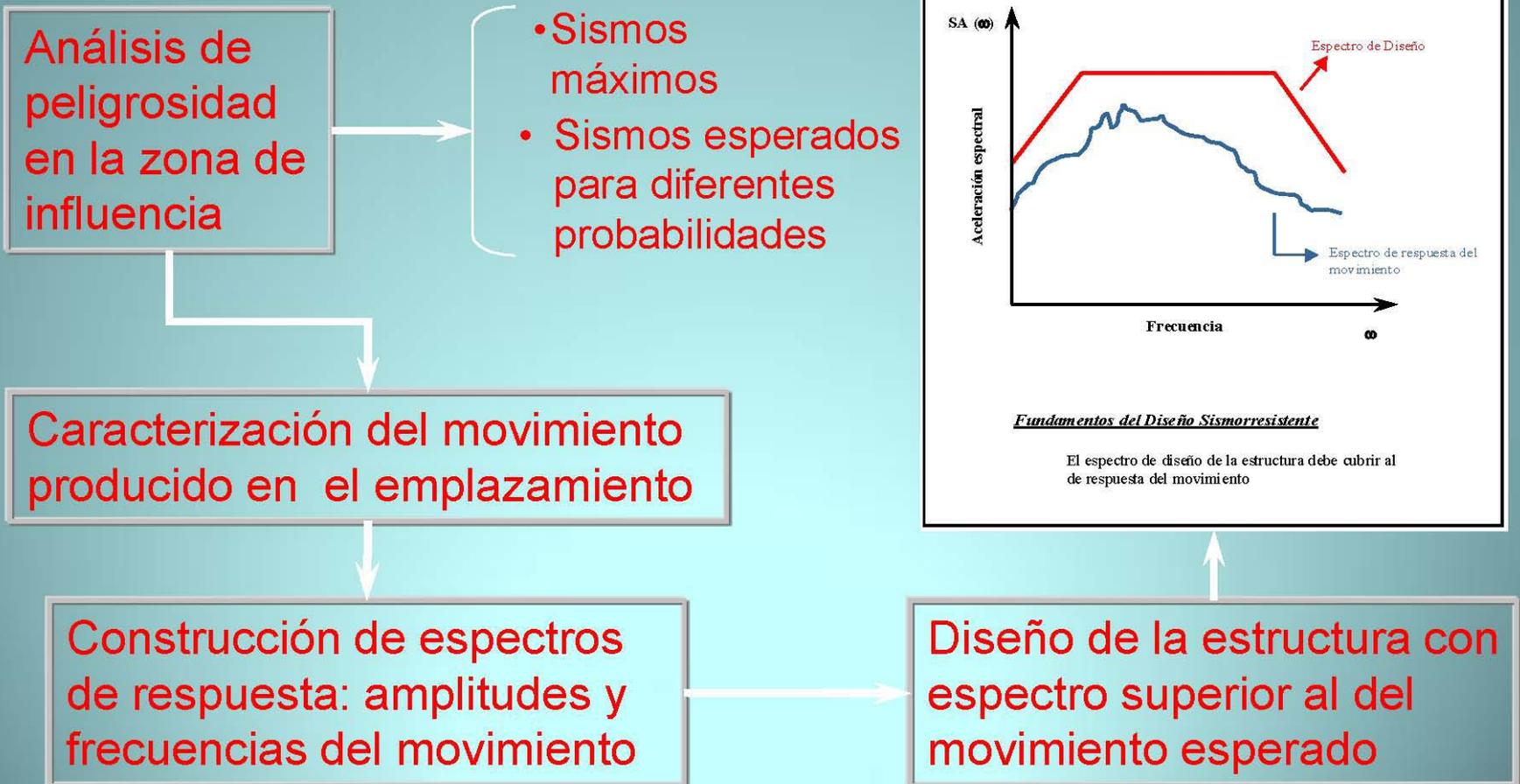
El espectro de aceleración para cada frecuencia representa la respuesta del edificio con esa frecuencia natural



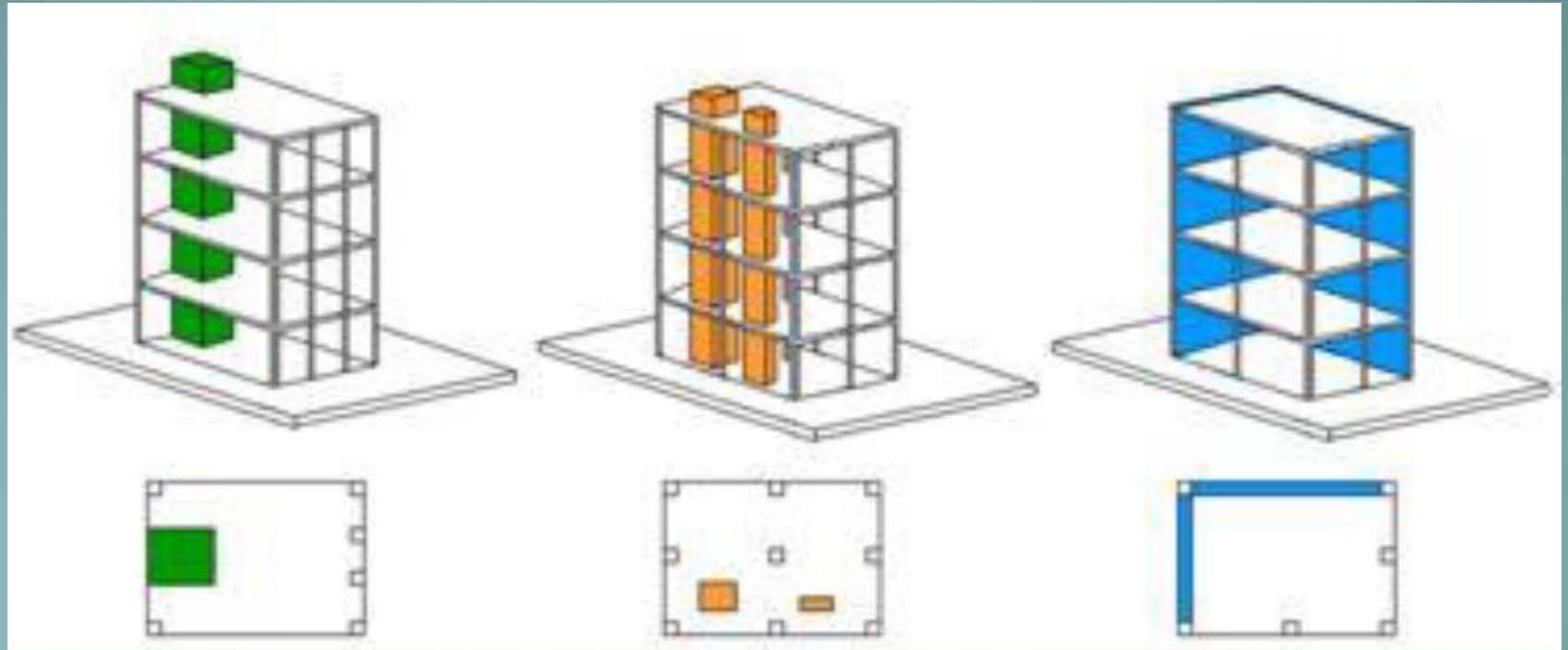
FUNDAMENTOS DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE

Las estructuras se construyen para resistir los movimientos de los sismos esperados durante su tiempo de vida útil

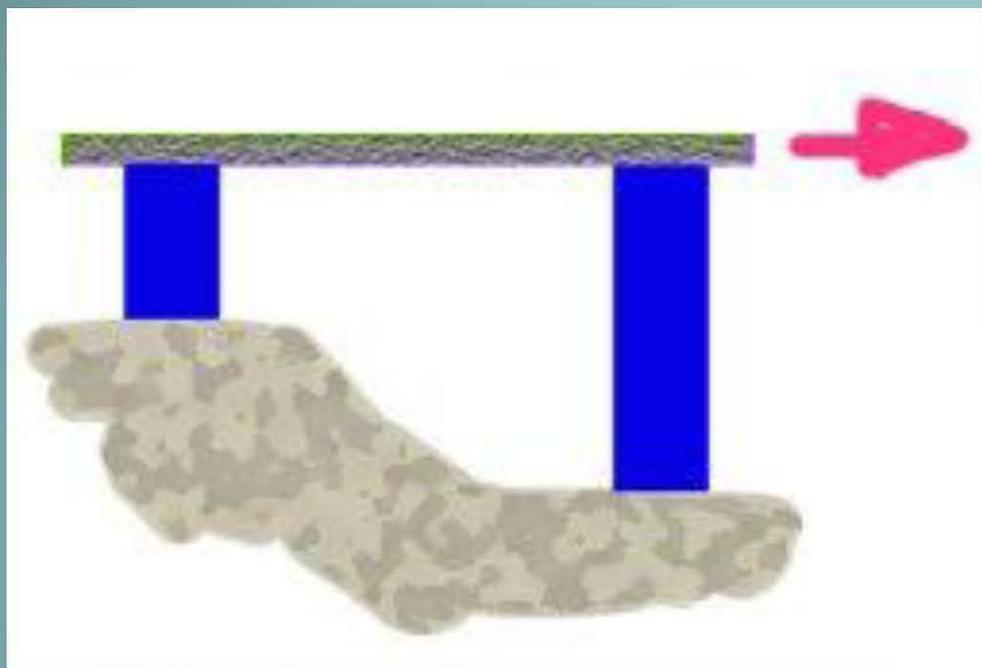
SECUENCIA DE ACTUACIÓN



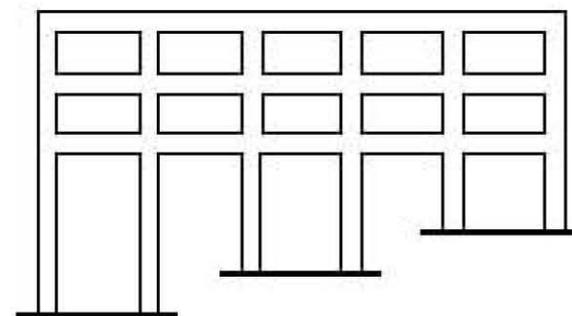
Torsión por muros excéntricos



El objetivo debe ser proveer a la estructura con la mayor simetría posible de la rigidez con respecto a la masa.



La columna corta toma la mayor carga, por ser la más rígida (ofrece mayor restricción al desplazamiento), en proporción con la columna larga.



Edificaciones en colinas

Arto.23. Condiciones de regularidad

a) Estructura regular

Para que una estructura pueda considerarse regular debe satisfacer los siguientes requisitos:

- 1) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Estos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
- 2) La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.
- 3) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.
- 4) En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
- 5) En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
- 6) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.
- 7) El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.
- 8) Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción.
- 9) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por traveses o losas planas.

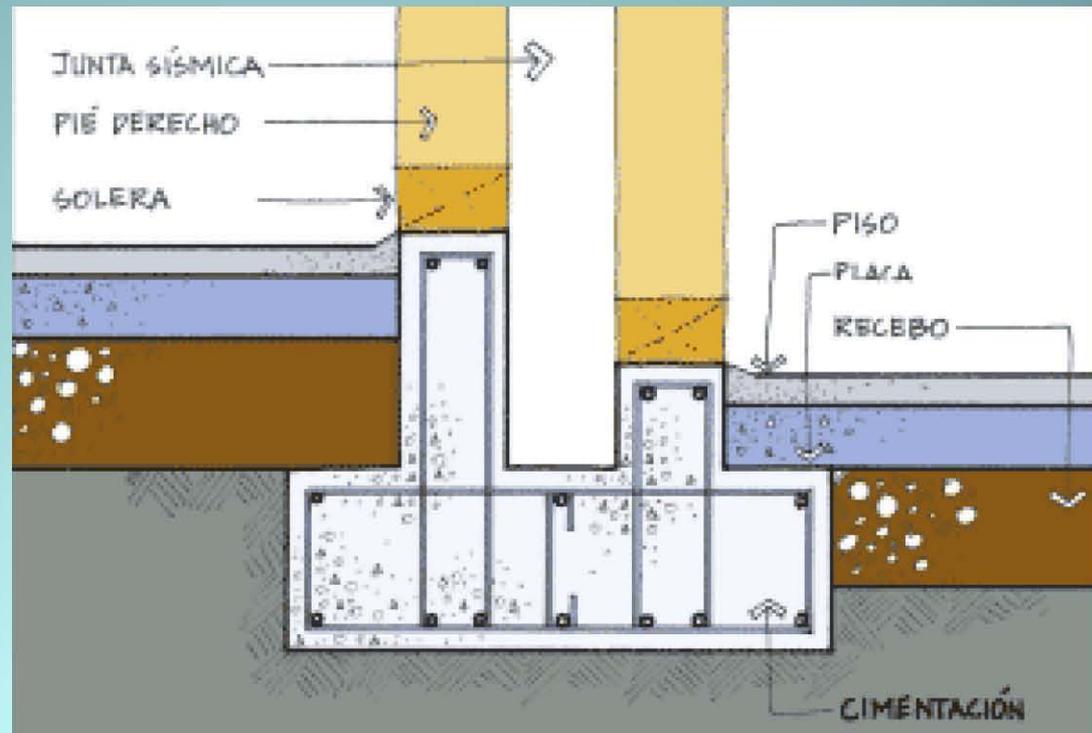


- **JUNTAS DE SEPARACION**



Juntas de dilatación sísmica

**Edificaciones
separadas por junta
sísmica**



Arto. 38. Colindancias y Juntas de Separación.

- a) Toda nueva construcción debe separarse de las existentes por medio de juntas, de tal manera que no haya posibilidades de contacto, cuando se desplacen una hacia la otra por efecto de sismo o viento.
- b) Las construcciones de bloques de distinta altura ó de planta irregular en forma de L, T, E, H, C, Zz, se separarán preferentemente en bloques de planta rectangular y altura uniforme.
- c) La dimensión de las juntas y la separación de los bloques en el nivel i no será menor de 5 cm, pero no menos el desplazamiento en el estado limite de colapso mas 0.003 veces la altura de dicho nivel sobre el terreno.
- d) La separación entre cuerpos de un mismo edificio o entre edificios adyacentes será cuando menos igual a la suma de las que corresponden a cada uno, de acuerdo con el párrafo precedente.
- e) Podrá dejarse una separación igual a la mitad de dicha suma si los dos cuerpos tienen la misma altura y estructuración y, además, las losas coinciden a la misma altura, en todos los niveles. En los planos arquitectónicos y en los estructurales se anotarán las separaciones que deben dejarse en los linderos y entre cuerpos de un mismo edificio.
- f) Los espacios entre edificaciones colindantes y entre cuerpos de un mismo edificio deben quedar libres de todo material.
- g) Si se usan tapajuntas, éstas deben permitir los desplazamientos relativos, tanto en su plano como perpendicularmente a él.



CONCEPTOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
SISMORESISTENTE Y MEDIDAS DE MITIGACION

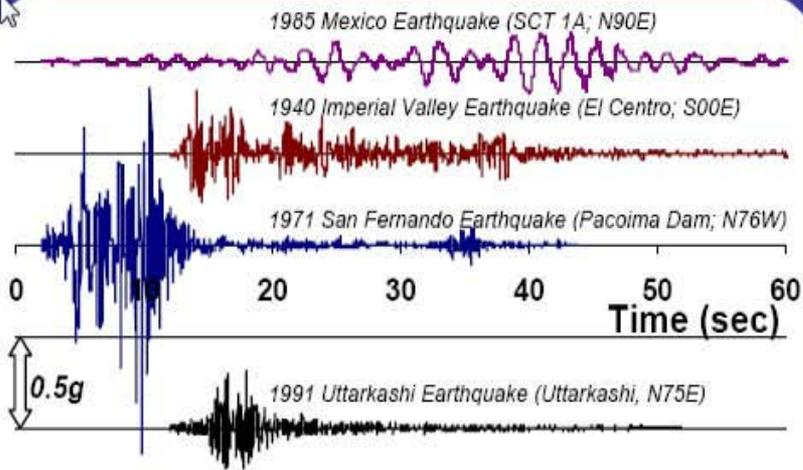


Figure 4::
Some typical recorded accelerograms

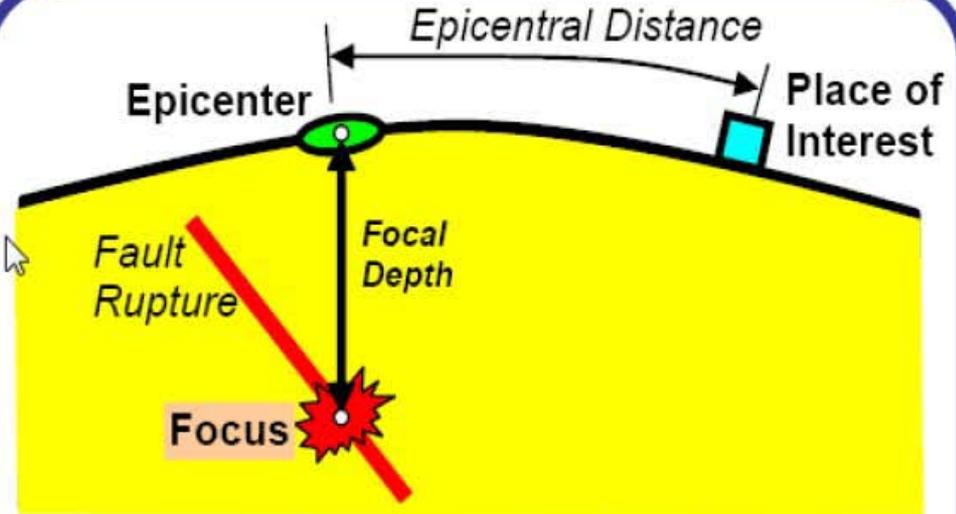


Figure 1: Basic terminology

What are the Seismic Effects on Structures?

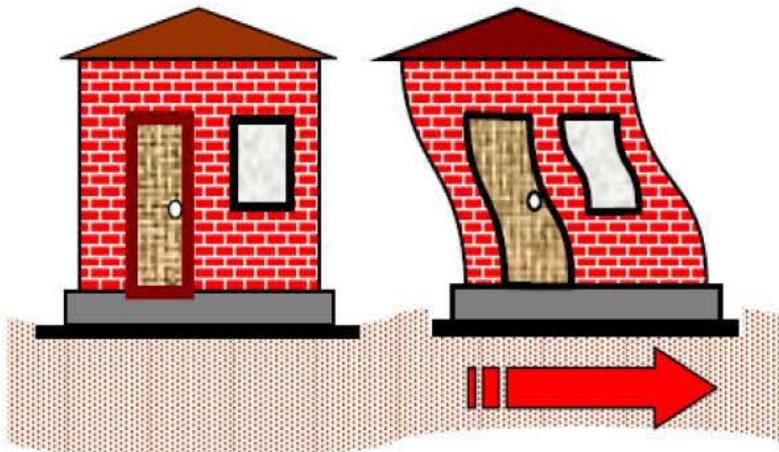


Figure 1: Effect of Inertia in a building when shaken at its base

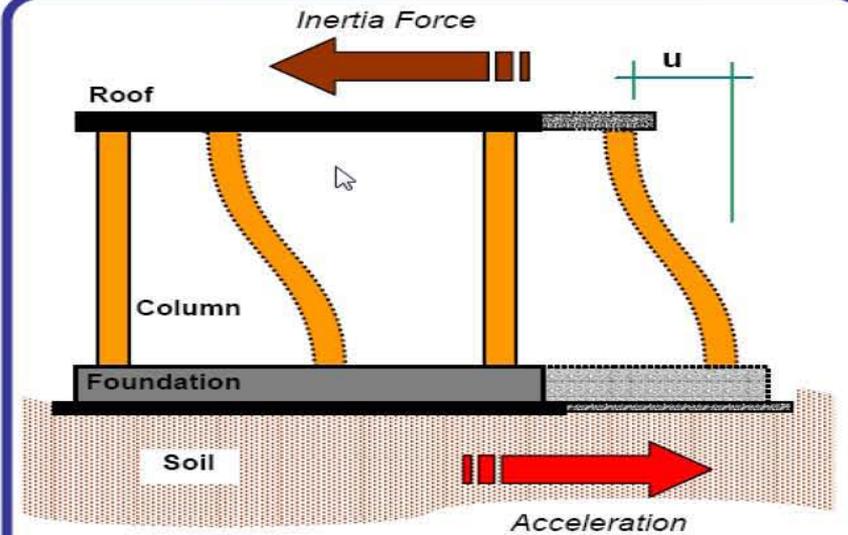


Figure 2: Inertia force and relative motion within a building

What are the seismic effects on structures?

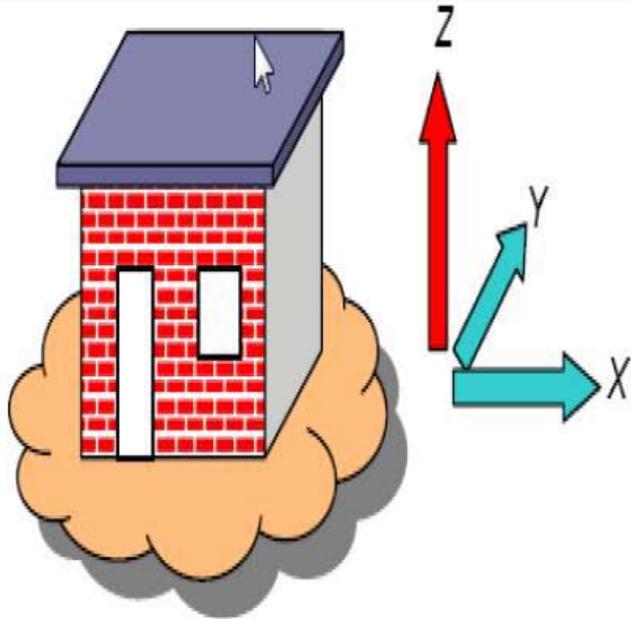


Figure 3: Principal directions of a building

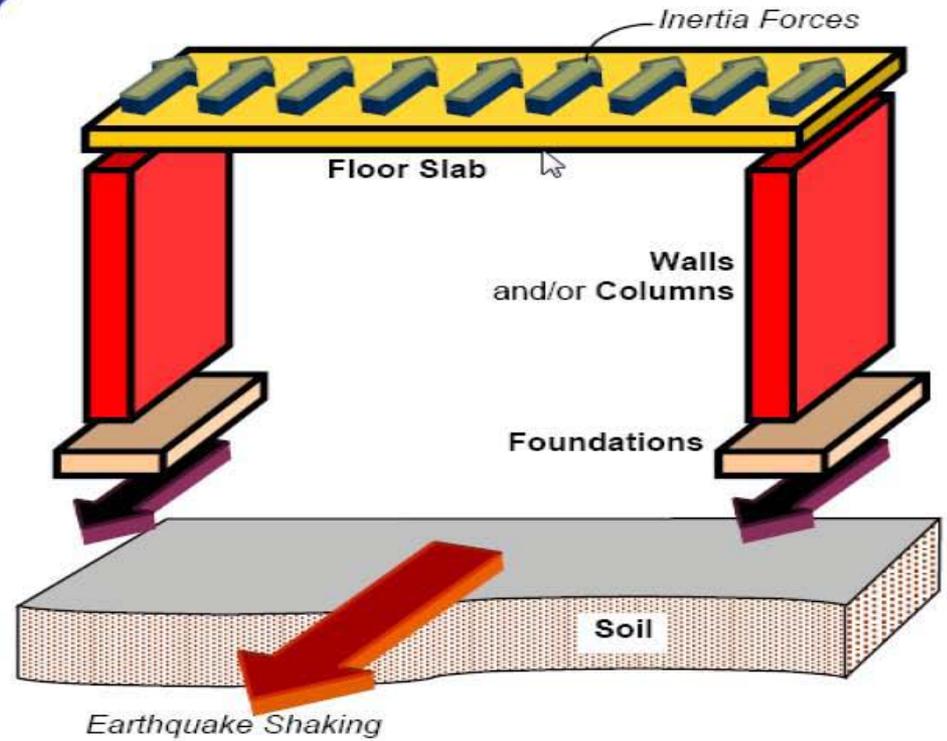


Figure 4: Flow of seismic inertia forces through all structural components.

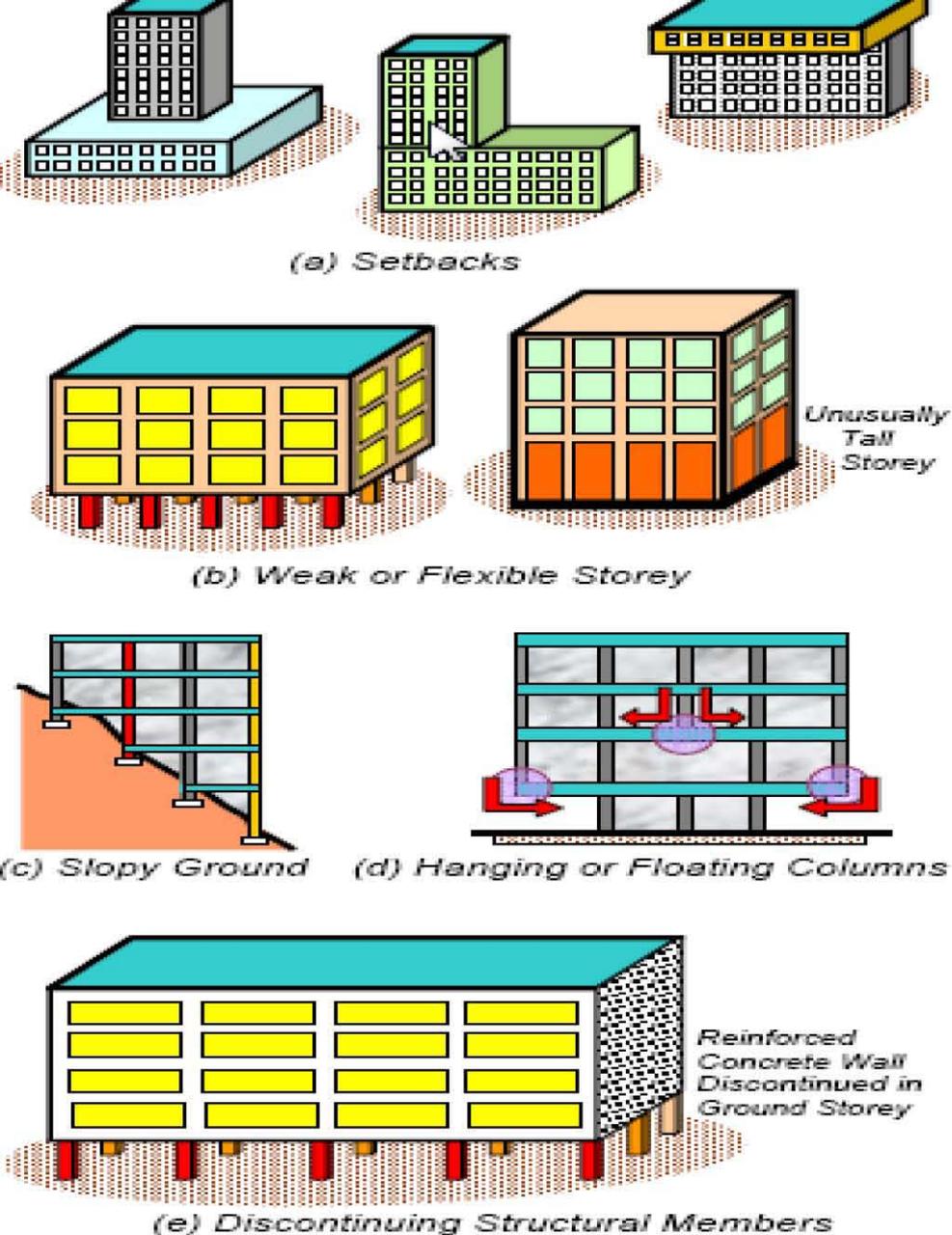


Figure 3: Sudden deviations in load transfer path along the height lead to poor performance of buildings.

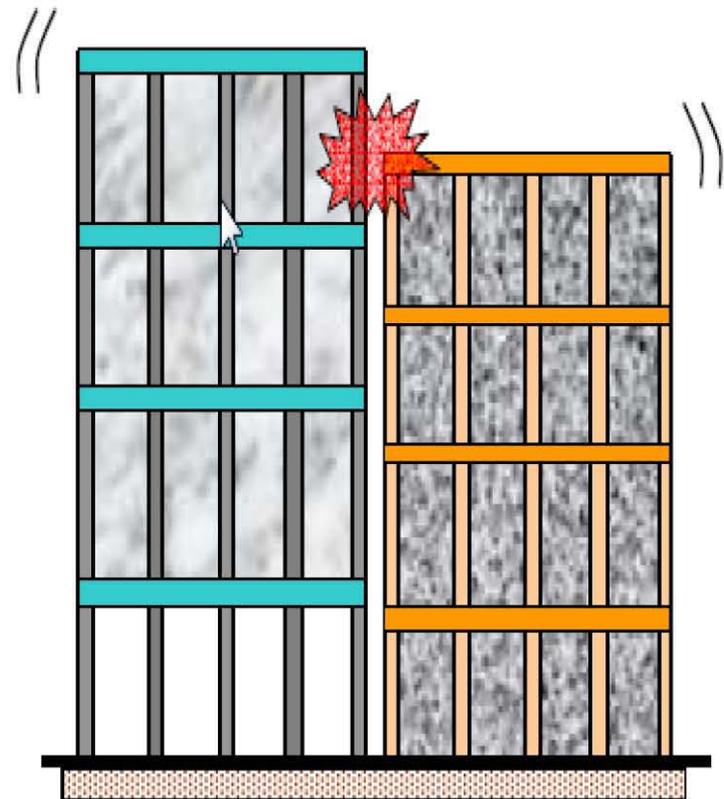


Figure 4: Pounding can occur between adjoining buildings due to horizontal vibrations of the two buildings.

Arto. 38. Colindancias y Juntas de Separación.

- a) Toda nueva construcción debe separarse de las existentes por medio de juntas, de tal manera que no haya posibilidades de contacto, cuando se desplacen una hacia la otra por efecto de sismo o viento.
- b) Las construcciones de bloques de distinta altura ó de planta irregular en forma de L, T, E, H, C, Z, se separarán preferentemente en bloques de planta rectangular y altura uniforme.
- c) La dimensión de las juntas y la separación de los bloques en el nivel i no será menor de 5 cm, pero no menos el desplazamiento en el estado limite de colapso más 0.003 veces la altura de dicho nivel sobre el terreno.
- d) La separación entre cuerpos de un mismo edificio o entre edificios adyacentes será cuando menos igual a la suma de las que corresponden a cada uno, de acuerdo con el párrafo precedente.

- e) Podrá dejarse una separación igual a la mitad de dicha suma si los dos cuerpos tienen la misma altura y estructuración y, además, las losas coinciden a la misma altura, en todos los niveles. En los planos arquitectónicos y en los estructurales se anotarán las separaciones que deben dejarse en los linderos y entre cuerpos de un mismo edificio.
- f) Los espacios entre edificaciones colindantes y entre cuerpos de un mismo edificio deben quedar libres de todo material.
- g) Si se usan tapajuntas, éstas deben permitir los desplazamientos relativos, tanto en su plano como perpendicularmente a él.

What is the Seismic Design Philosophy for Buildings?

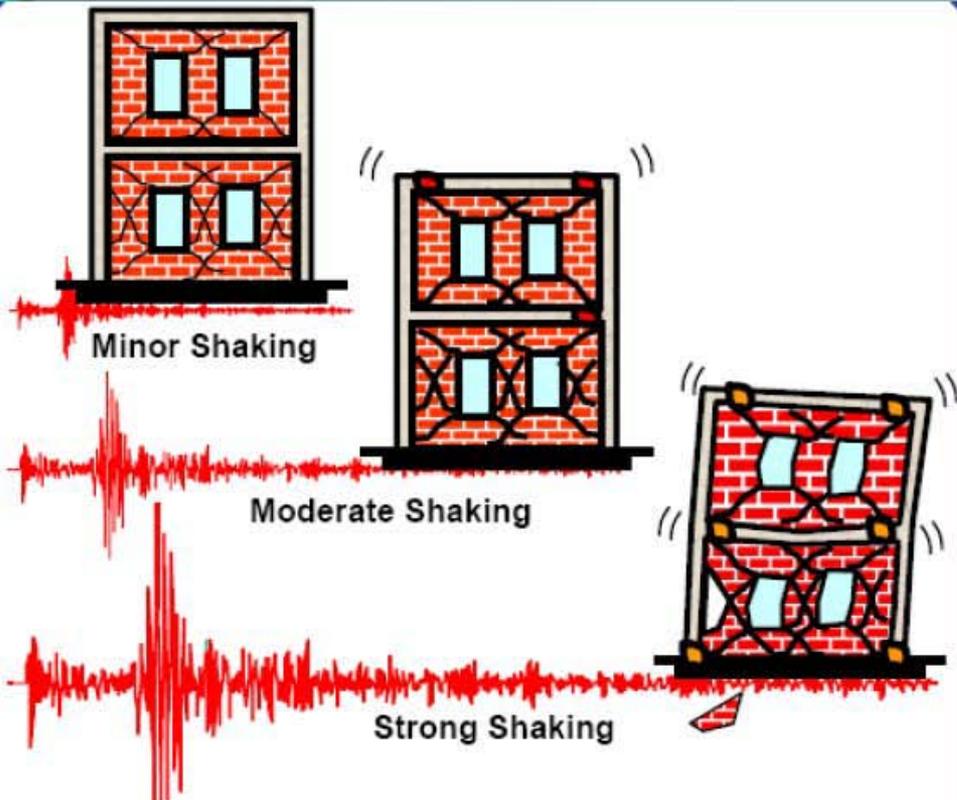


Figure 1: Performance objectives under different intensities of earthquake shaking – *seeking low repairable damage under minor shaking and collapse-prevention under strong shaking.*



Figure 2: Diagonal cracks in columns jeopardize vertical load carrying capacity of buildings - *unacceptable damage.*



(a) Building performances during earthquakes: two extremes – the ductile and the brittle.



Photo from Housner & Jennings,
Earthquake Design Criteria, EERI, USA

(b) Brittle failure of a reinforced concrete column

Figure 3: Ductile and brittle structures – seismic design attempts to avoid structures of the latter kind

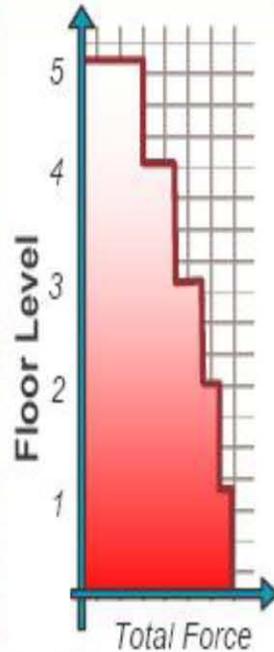


Figure 1: Total horizontal earthquake force in a building increases downwards along its height.

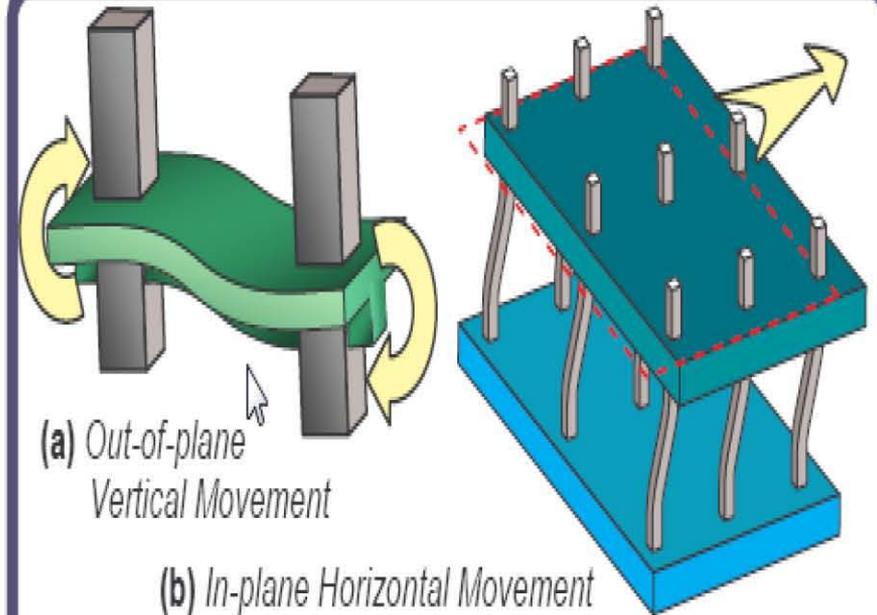


Figure 2: Floor bends with the beam but moves all columns at that level together.

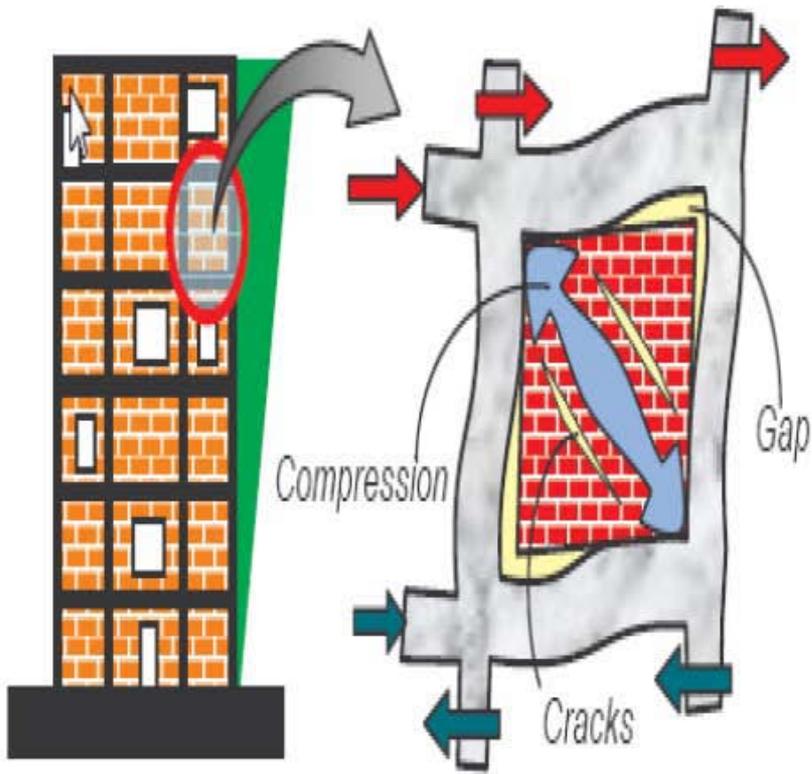


Figure 3: Infill walls move together with the columns under earthquake shaking.

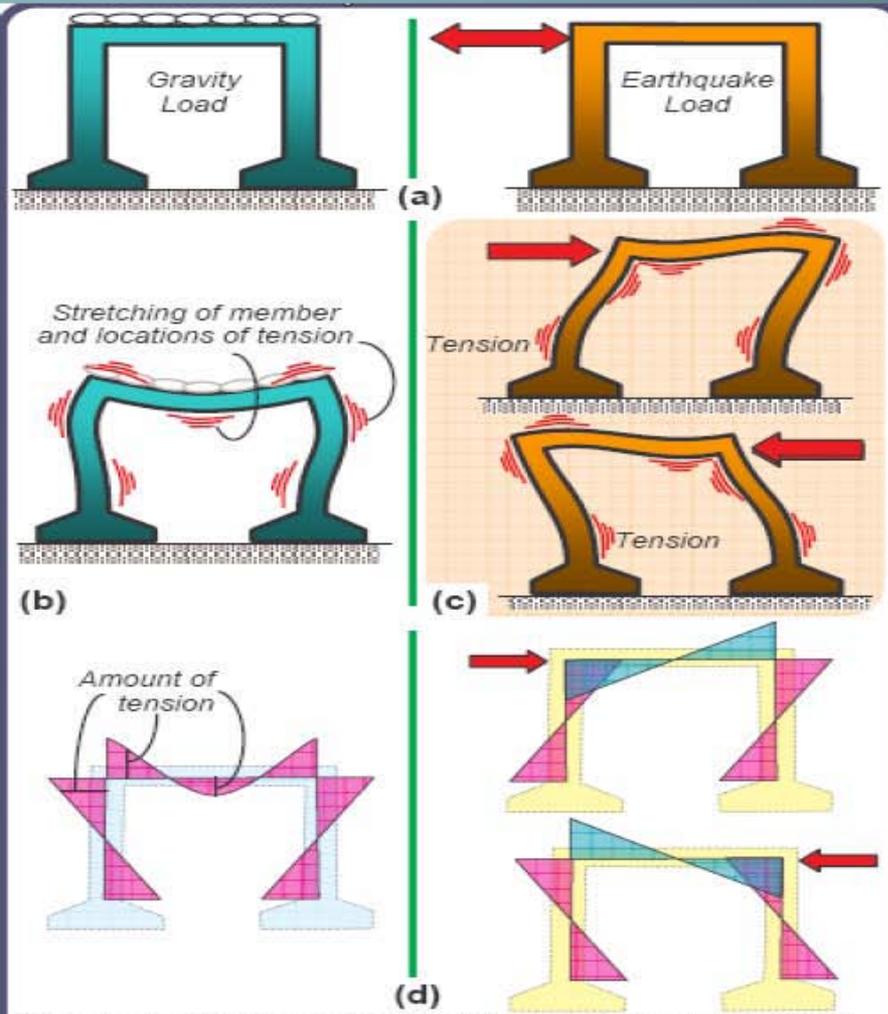


Figure 4: Earthquake shaking reverses tension and compression in members – reinforcement is required on both faces of members.

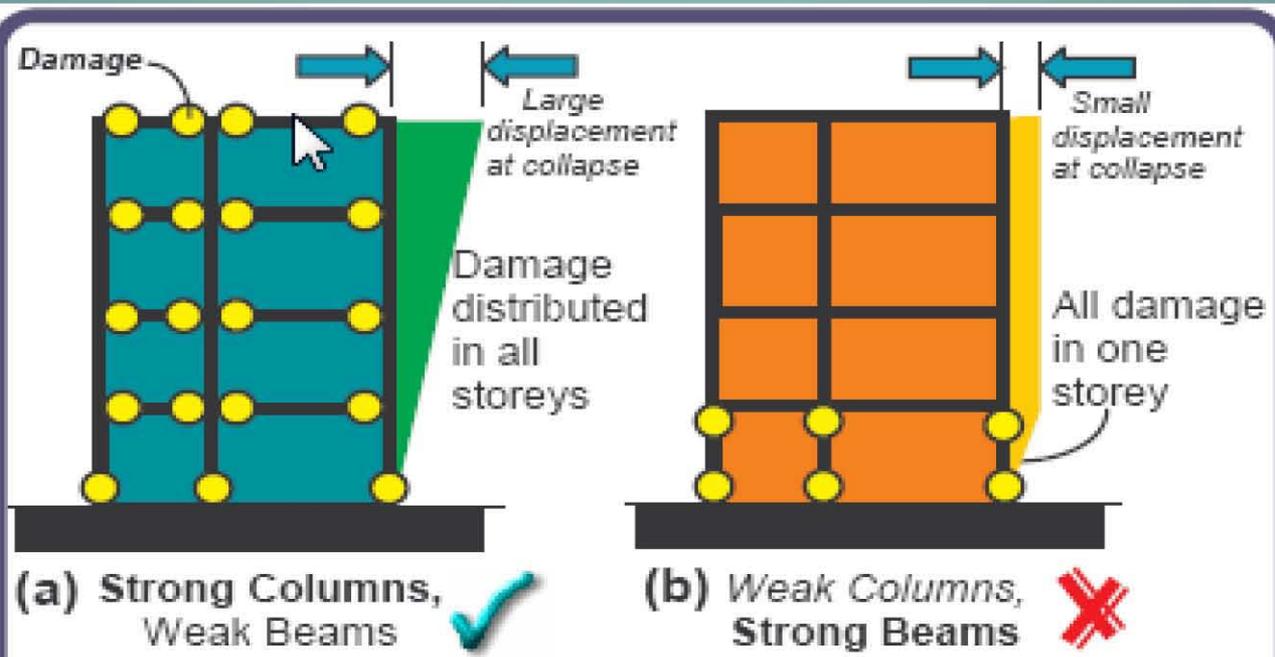


Figure 5: Two distinct designs of buildings that result in different earthquake performances – columns should be stronger than beams.



Figure 1: Ground storeys of reinforced concrete buildings are left open to facilitate parking – this is common in urban areas in India.

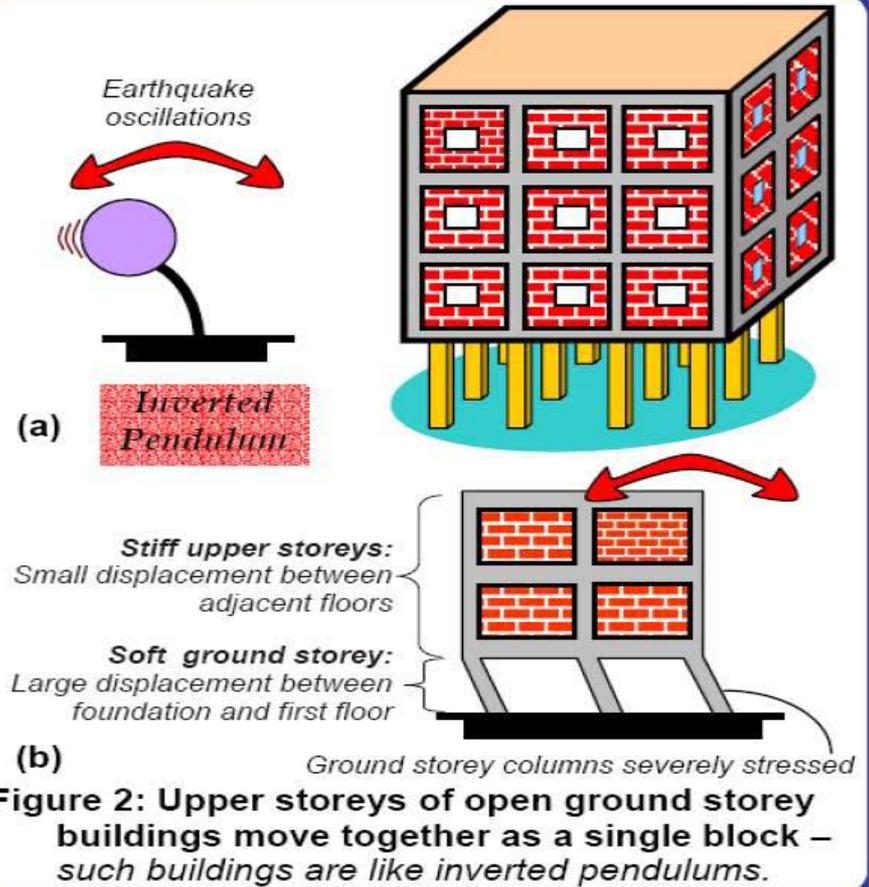




Photo Courtesy: The EERI Annotated Slide Set CD, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland (CA), USA, 1998.

(a) 1971 San Fernando Earthquake



(b) 2001 Bhuj Earthquake

Figure 3: Consequences of open ground storeys in RC frame buildings – severe damage to ground storey columns and building collapses.

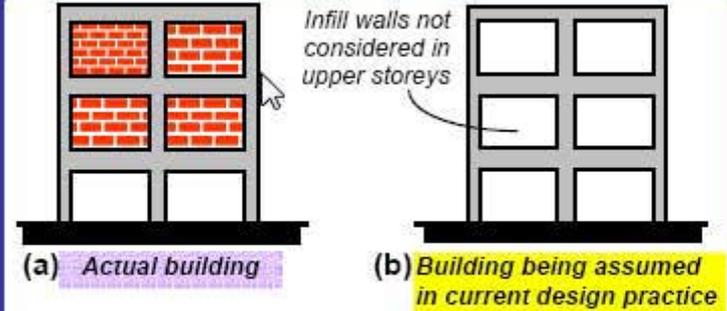


Figure 4: Open ground storey building – assumptions made in current design practice are not consistent with the actual structure.

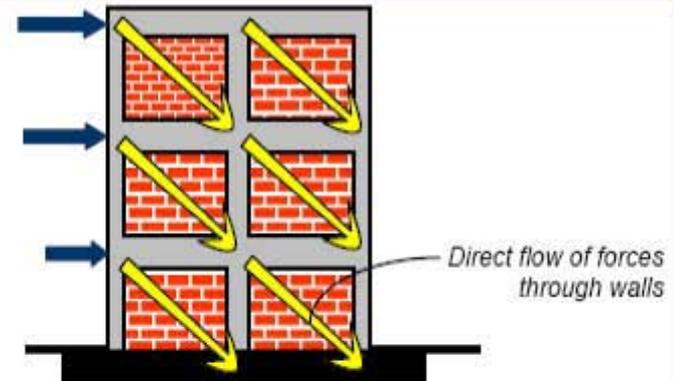


Figure 5: Avoiding open ground storey problem – continuity of walls in ground storey is preferred.

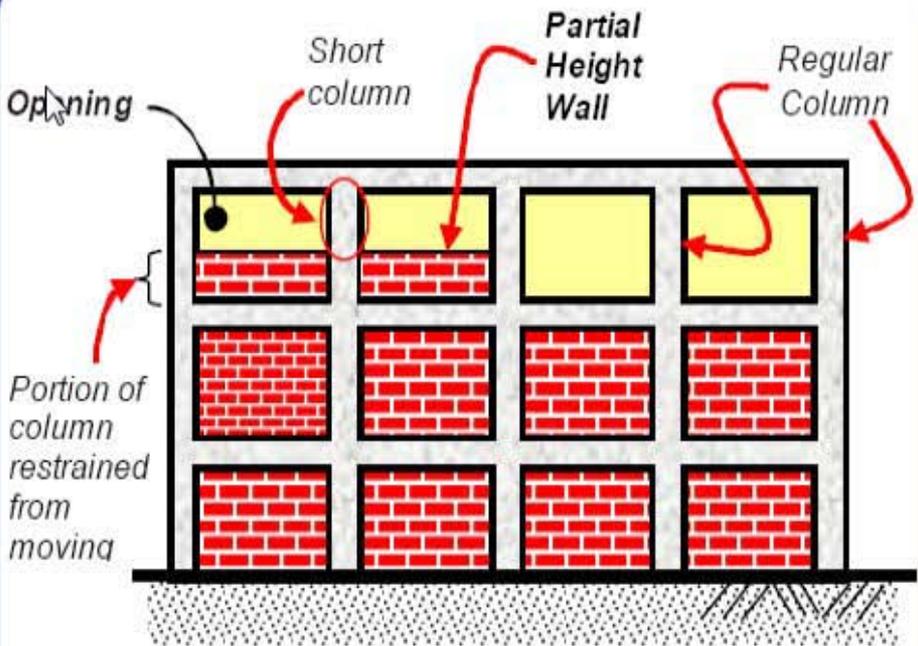


Figure 3: Short columns effect in RC buildings when partial height walls adjoin columns – the effect is implicit here because infill walls are often treated as non-structural elements.



Short column between lintel and sill of window

Source: Wakabayashi, M., Design of Earthquake-Resistant Buildings, McGraw-Hill Book Company, New York.

Figure 4: Effective height of column over which it can bend is restricted by adjacent walls – this short-column effect is most severe when opening height is small.

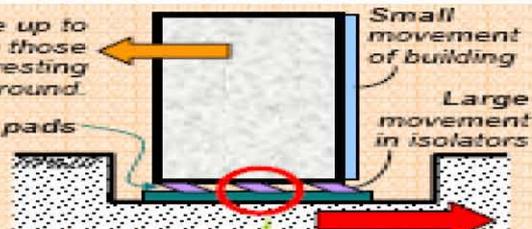
If the gap between the building and vertical wall of the foundation pit is small, the vertical wall of the pit may hit the building. When the ground moves under the building.



(a) **Hypothetical Building**

Building on rollers without any friction – building will not move with ground

Forces induced can be up to 5-6 times smaller than those in a regular building resting directly on ground.



(b) **Base Isolated Building**



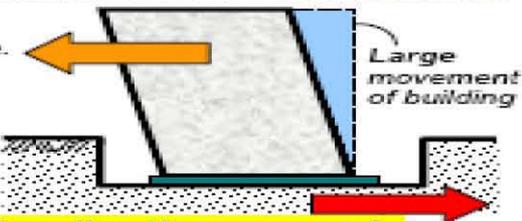
Flexible Material



Isolator during Earthquake

Building on flexible pads connected to building and foundation – building will shake less

Forces induced are large.



(c) **Fixed-Base Building**

Building resting directly on ground – building will shake violently

Figure 1: Building on flexible supports shakes lesser – this technique is called Base Isolation.

Photo Courtesy: Majorie Greene, EERI, USA



Basement columns supporting base isolators

Base Isolator

Figure 2: View of Basement in Bhuj Hospital building – built with base isolators after the original District Hospital building at Bhuj collapsed during the 2001 Bhuj earthquake.

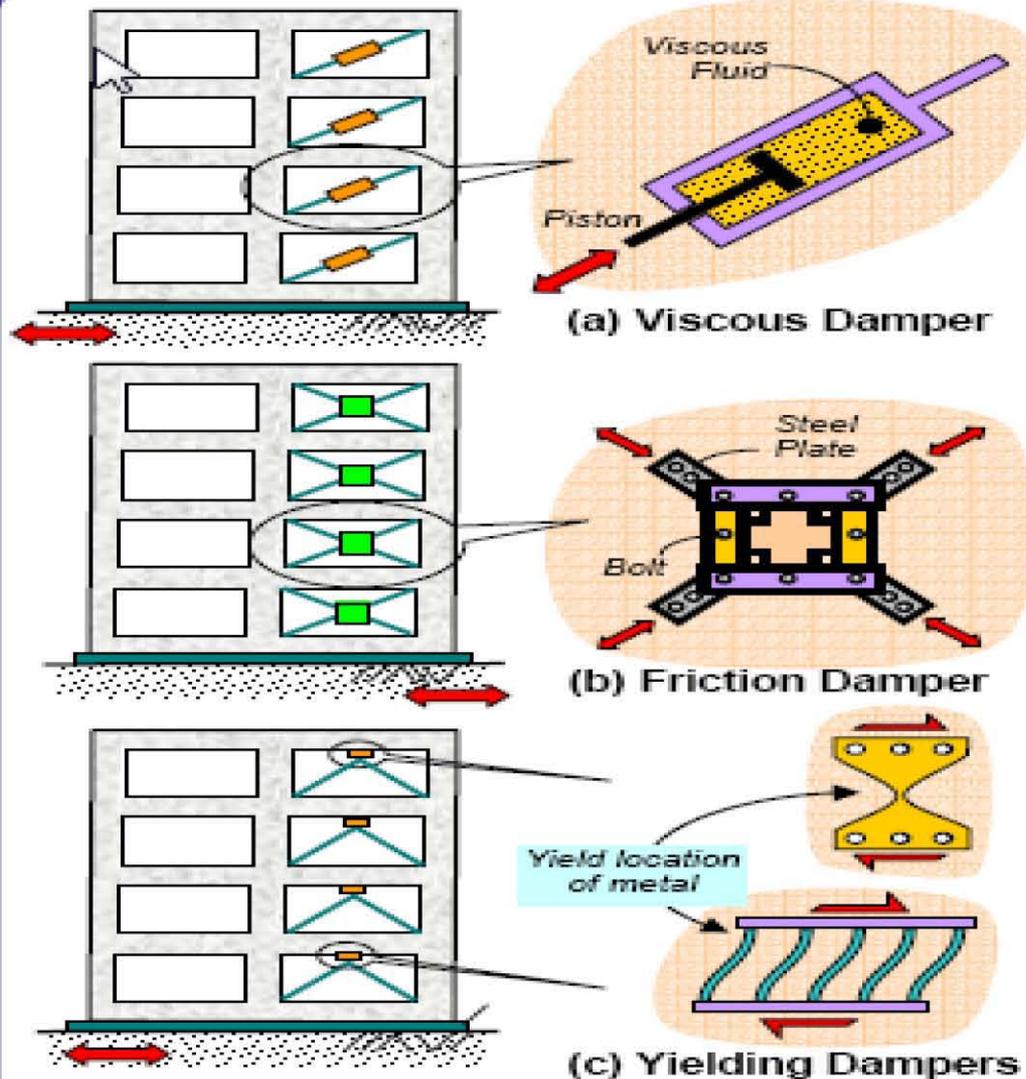
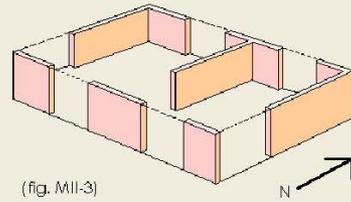


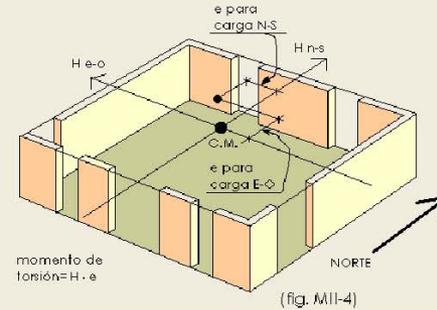
Figure 3: Seismic Energy Dissipation Devices –
each device is suitable for a certain building.



(fig. MII-3)

En la figura MII-3 se ilustra un ejemplo donde los planos verticales resistentes a fuerzas laterales están distribuidos simétricamente haciendo que la resultante de las reacciones producidas por los muros coincida con el centro de masas de la planta donde estaría aplicada la acción.

En la figura MII-4, en cambio, se muestra una estructura donde la asimetría de los planos verticales resistentes hace que no coincida el **centro de rigidez** (o centro de resistencia) con el **centro de masa** (en este caso coincidente con el centro de gravedad de la planta, como suele ocurrir frecuentemente). Esta no coincidencia entre centro de rigidez y centro de masas produce un efecto de **torsión** que habrá que tratar de minimizar cuando se trabaje en las distintas etapas del diseño arquitectónico.



(fig. MII-4)

Es conveniente recomendar que en zonas sísmicas no se diseñen configuraciones en planta que presenten **excentricidades** muy superiores al 15% de la dimensión de la planta normal a la dirección examinada. La figura MII-5 ilustra diversas situaciones referidas a la ubicación en planta de los planos resistentes verticales y las condiciones de estabilidad frente a la acción de fuerzas laterales que producen traslación o rotación del sistema estructural.

	→ ESTABLE ↑ ESTABLE ↺ ESTABLE	SIN EXCENTRICIDAD ESTÁTICA	ACEPTABLE
	→ ESTABLE ↑ ESTABLE ↺ NO RECOMEND.	EXCENTRICIDAD ESTÁTICA ELEVADA Y TORSIONES PRIMARIAS IMPORTANTES	A CORREGIR
	→ ESTABLE ↑ ESTABLE ↺ ESTABLE	LOS PLANOS PERIFÉRICOS RESISTEN POSIBLES EFECTOS TORSIONALES	ACEPTABLE
	→ ESTABLE ↑ ESTABLE ↺ LABIL	CARECE DE RESISTENCIA TORSIONAL	A CORREGIR
	→ ESTABLE ↑ ESTABLE ↺ LABIL	CARECE DE RESISTENCIA TORSIONAL	A CORREGIR
	→ ESTABLE ↑ ESTABLE ↺ LABIL	CARECE DE RESISTENCIA TORSIONAL	A CORREGIR
	→ ESTABLE ↑ ESTABLE ↺ NO RECOMEND.	ELEVADÍSIMAS TORSIONES PRIMARIAS	A CORREGIR

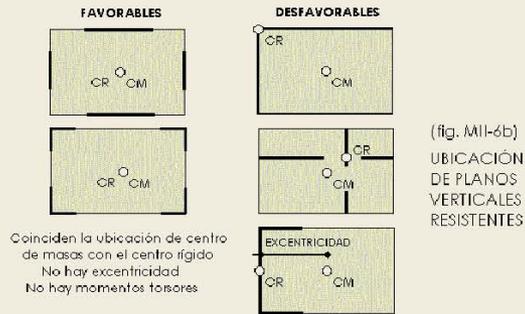
(fig. MII-5)

Configuración en planta

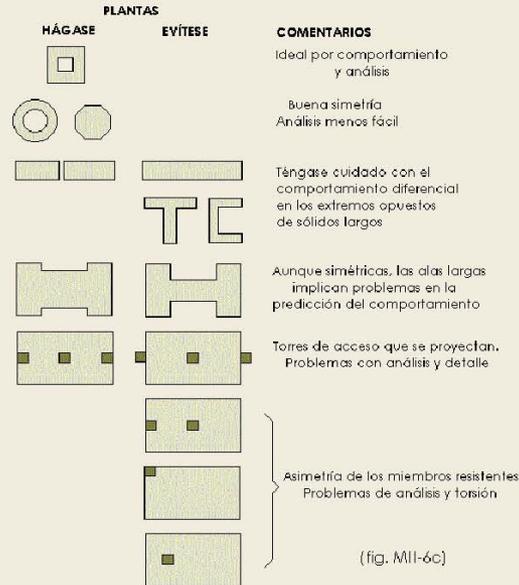
Se ha hablado de la necesidad de proyectar plantas estructurales regulares, con el fin de poder predecir su comportamiento, con el método basado en efectos estáticos equivalentes (fuerzas hipotéticas que producen, en la construcción, los mismos efectos que la acción sísmica). En la figura MII-6a se ilustran, en forma cualitativa, las disposiciones en planta que resultan recomendables y las que son inconvenientes.

(fig. MII-6a)
SILUETAS DE PLANTAS

La posición de los planos resistentes en la planta, y con relación al centro de masas, puede producir situaciones desfavorables desde el punto de vista del diseño, generando torsiones iniciales importantes. En este caso se denominan torsiones de diseño. En la figura MII-6b se ejemplifican algunas situaciones.



Mientras más largo sea la un edificio en planta, hay mayores posibilidades de que sus extremos se muevan en forma diferente, resultando difícil prever sus efectos, como se observa en la figura MII-6c.



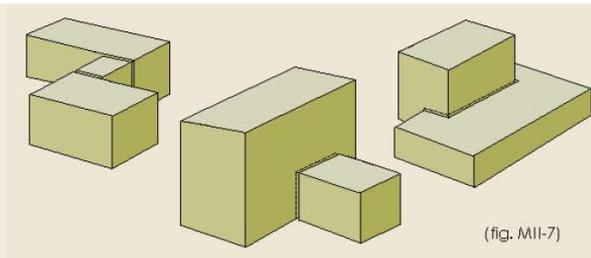
Las plantas asimétricas con salientes significativos con forma L o T bajo acciones sísmicas presentan vibraciones complejas. Las plantas en forma de H con salientes significativos a pesar de que poseen simetría presentan problemas, porque es difícil prever su comportamiento.

Si la forma H tiene como objeto dar un poco de movimiento a la fachada a través de pequeñas entrantes, puede adaptarse con confianza.

Las cubas extremas de ascensores o escaleras no son recomendables pues tienden a comportarse independientemente, causando efectos torsionales, difíciles de predecir.

Uso de juntas de control

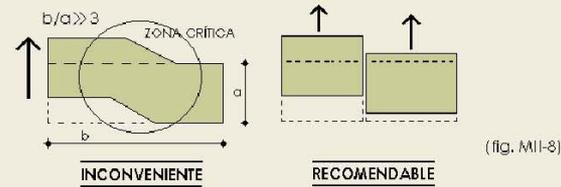
El método general de diseño para cargas laterales consiste en ligar toda la estructura para garantizar su movimiento como una unidad. Sin embargo, a veces, debido a la forma irregular o al gran tamaño del edificio, puede ser deseable controlar el comportamiento bajo cargas laterales mediante el uso de juntas de separación estructural, permitiendo el movimiento completamente independiente de las partes separadas del edificio (figura MII-7).



(fig. MII-7)

Se evitarán formas no-compactas, asimétricas y situaciones que impliquen cambios bruscos de rigidez y/o resistencia.

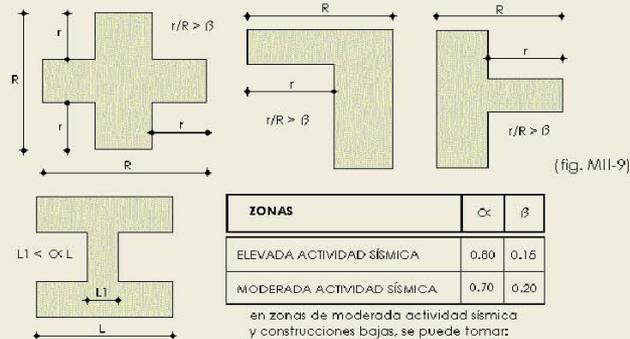
Plantas alargadas



(fig. MII-8)

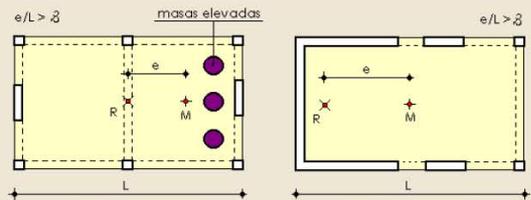
IRREGULARIDADES EN PLANTA

Geométricas



(fig. MII-9)

Distribución de masas y de rigideces



ASIMETRÍA DE MASAS

ASIMETRÍA DE RIGIDECES O RESISTENCIAS

(fig. MII-10)

ZONAS DE ELEVADA ACTIVIDAD SÍSMICA	$\beta = 0,10 \div 0,12$
ZONAS DE MODERADA ACTIVIDAD SÍSMICA	$\beta = 0,12 \div 0,15$

ver ejercicio 6



comunicación con Webmaster

