

“Los terremotos: riesgo sísmico”

Gonzalo Duque-Escobar *



COLROSARIO
Neira, mayo de 2010

Introducción

Esta presentación se ocupa de dos temas:

- A- nociones generales sobre terremotos y riesgo sísmico, y
- B- el riesgo sísmico en el caso de Manizales.

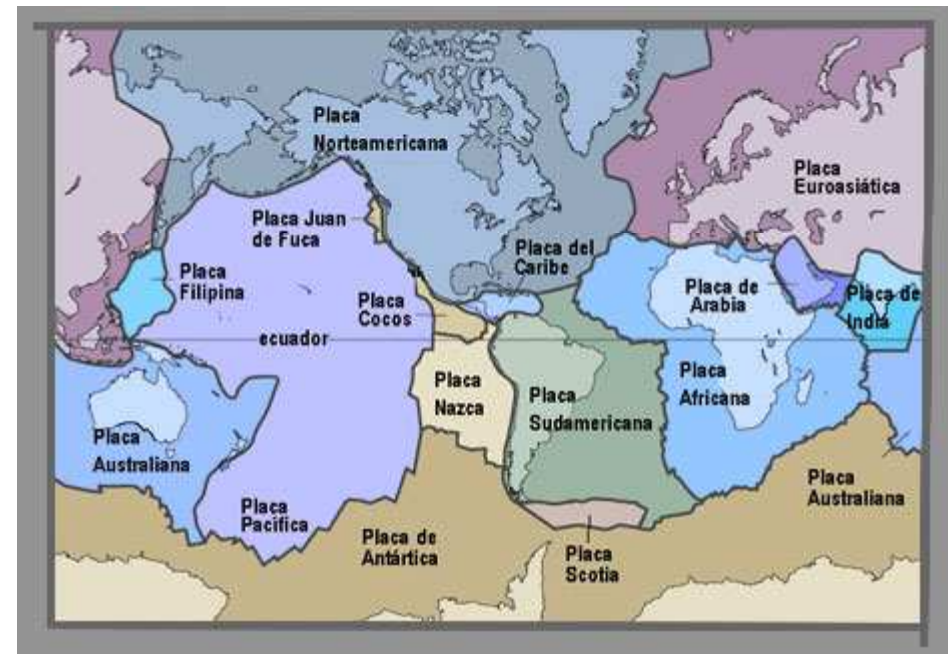
Las imágenes que ilustran este documento, se han tomado de Internet, del CIMOC y del Manual de geología para ingenieros.

Esta actividad hace parte del programa de extensión solidaria de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.



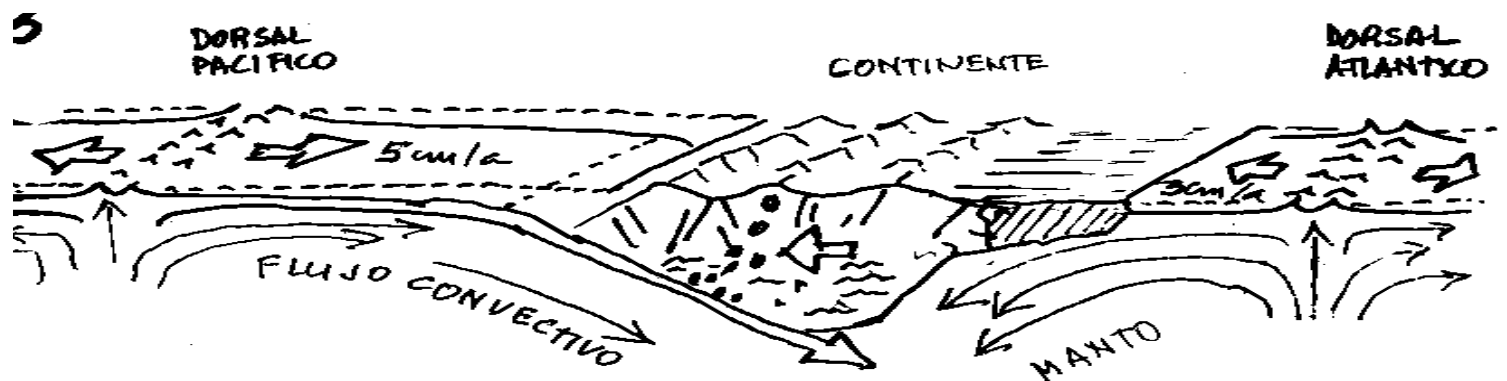
La tectónica de placas

- Teoría que explica la forma en que está estructurada la porción externa más fría y rígida de la Tierra, y que señala la causa de los desplazamientos que se observan entre los bloques rígidos la conforman, causados por la dinámica de las corrientes de convección del manto fluido del planeta.



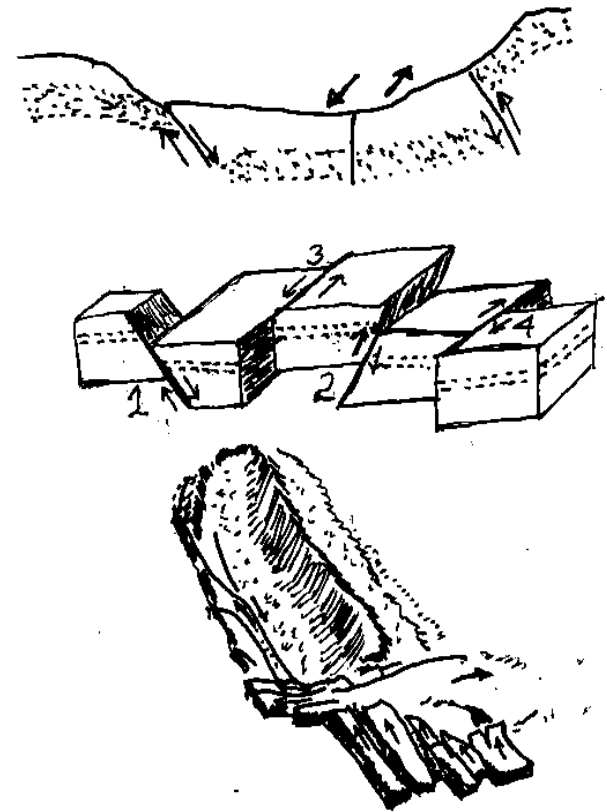
La danza de los continentes

- La corteza de la Tierra, que se regenera y destruye, se mueve a modo de una banda transportadora gracias a las corrientes de convección del manto, y en ella se arrastran los continentes. Esa deriva continental causa terremotos. Pero también las pequeñas alteraciones en la corteza de la Tierra, generadas por el paso de depresiones ciclónicas profundas o por los ciclos de mareas terrestres, pueden desencadenar auténticas sacudidas. Igualmente, la colisión de un meteoro o de un cometa, puede ocasionar este fenómeno.



La ruptura de la corteza

- Entonces, la corteza de la Tierra se conforma por placas rígidas que se mueven; y por el movimiento de esas placas, llamadas placas tectónicas, se acumula en la corteza de la Tierra energía, gracias a procesos de deformación elástica.
- Ahora, cuando se produce la ruptura de una capa de rocas de la corteza de la Tierra, se presenta un conjunto de bloques desplazados a lo largo de las líneas de ruptura, en los que las fracturas reciben el nombre de fallas geológicas.

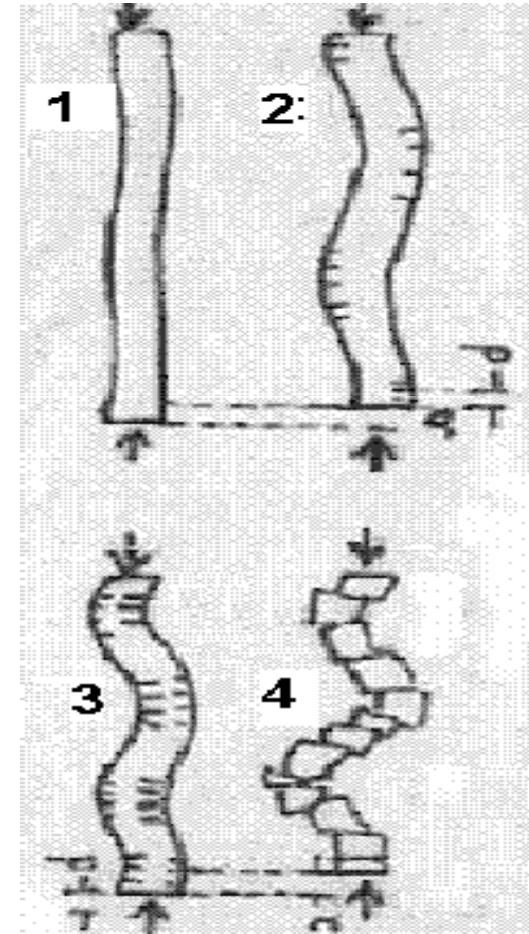


Teoría del rebote elástico

Un sismo es la manifestación de la energía ondulatoria liberada por una ruptura o falla geológica, cuando los bloques de la placa tectónica han acumulado energía de deformación, o por un colapso o por una colisión de un asteroide, ocurrido en las estructuras geológicas de la corteza de la Tierra.

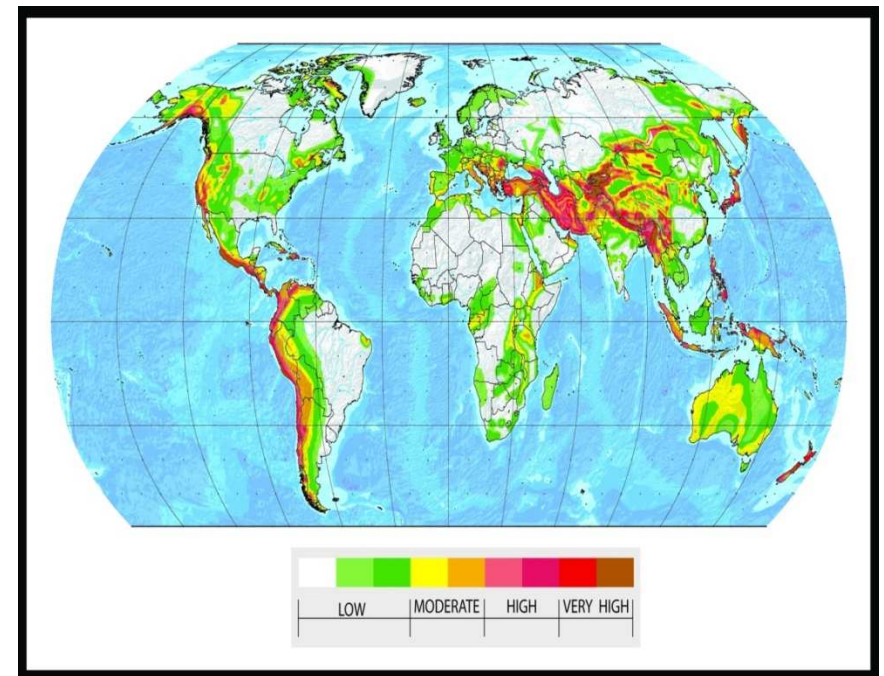
Figura 1.:

- 1. deformación elástica.
- 2. fisuras de tensión.
- 3. fisuras de tensión y compresión,
- 4. fallamiento y liberación de la energía de deformación por ruptura.



Riesgo Sísmico en el Mundo

- Existen sobre la Tierra regiones prácticamente asísmicas, como las zonas grises de la figura: son los cratones o núcleos estables de los continentes, como el Escudo Guyanés, el Escudo Brasileño y el Escudo Canadiense, para el caso de América.
- Contrariamente, existen regiones sísmicas, las zonas rojas y amarillas, tales como el Cinturón Circumpacífico y la línea Alpes – Caúcaso -Himalaya.
- Esto explica las diferencias básicas en la amenaza sísmica entre las regiones naturales de Colombia.



•Fuente: www.acm.org

La falla de San Andrés en California

- Se localiza en la costa oeste de USA; allí, las rocas del océano se desplazan hacia el norte, y el continente hacia el sur. Por ese desplazamiento se acumulan esfuerzos que han de liberarse en la falla de San Andrés.
- Esta falla comprende cinco trazos principales: tres de ellos liberan energía de deformación de manera casi continua, mientras dos la acumulan para ser liberada violentamente cada veinte o treinta años, en forma de sismos superficiales y desastrosos.
- Pueden producirse en el futuro nuevos terremotos en San Francisco tan violentos como el del año de 1906.
- La imagen corresponde a la Falla de San Andrés, en California.



Sistema de fallas Arima-Takatsuki



- En KOBE Japón, el epicentro del terremoto de 1995 fue localizado en el centro del sistema de fallas Arima-Takatsuki, en el extremo norte de la isla Awaji. Este terremoto fue causado por una ruptura de 40 Km en el sistema de fallas de la microplaca Osaka.
- Aunque históricamente han ocurrido sismos destructivos en esta región, como el de 1596 con magnitud 7,5 la poca actividad sísmica reciente hacía que la población la considerara segura.
- Han pasado 400 años para que ocurra otro terremoto destructivo en el área, probablemente producido por el mismo sistema de fallas, cuando se estimaba que el intervalo activo era cercano a los mil años.

Terremoto del Perú

- El 15 de agosto de 2007 se presentó un terremoto de magnitud 7,9 en la costa del Perú.
- No se produce maremoto, pero el evento supera las 500 víctimas mortales y 1542 heridas.
- Las poblaciones más afectadas: Chincha, Pisco e Ica, en el departamento de Ica.
- Esta historia es la de cualquier otro país andino, como Colombia, Ecuador, Chile y Venezuela, todos con una historia común en materia de riesgo sísmico y desarrollo.
- Al examinar las consecuencias de cada desastre, debemos hacernos preguntas sobre la causa real de los mismos y las acciones fundamentales para lograr prevenirlos.



Fuente: www.usatoday.com

Balance provisional

El sismo del 15 de agosto de 2007, ocurrido en el Perú, deja como saldo 1500 heridos, 15000 viviendas destruidas y 80 mil damnificados. Además, ocho clínicas, siete edificios, seis iglesias, un hotel, 14 carreteras y dos puentes quedaron destruidos. Esto invita a repensar los modelos de la planeación urbana, la tecnología constructiva y la educación ambiental, para que luego de la reconstrucción se resuelvan problemas estructurales.



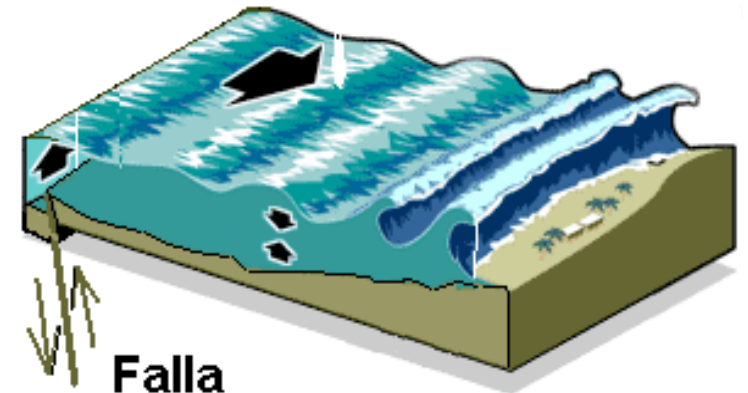
El maremoto o tsunami

- Los sismos que se producen en la corteza ubicada en el fondo oceánico, pueden causar “maremotos” cuando los bloques rocosos se desplazan verticalmente a lo largo de una falla, para bascular las aguas. En mar abierto la perturbación transmitida al agua es rápida, pero en aguas poco profundas la ola pierde profundidad y gana amplitud.

- Los sismos se denominan terremotos en nuestro planeta y lunamotos en la Luna.



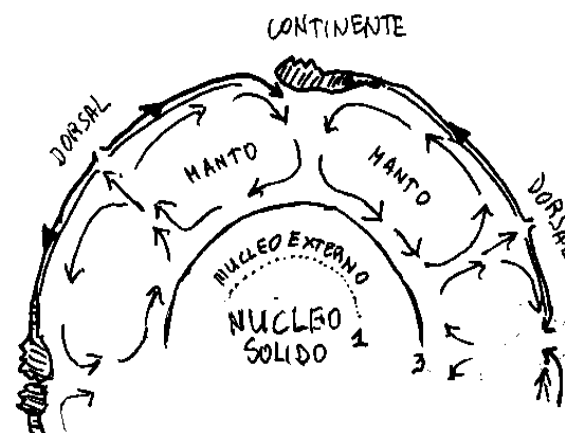
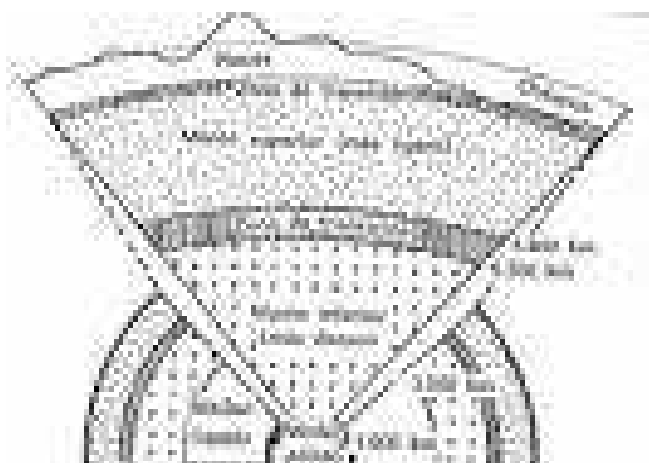
www.tonibosch.wordpress.com



www.bbc.co.uk

Las clases de sismos I

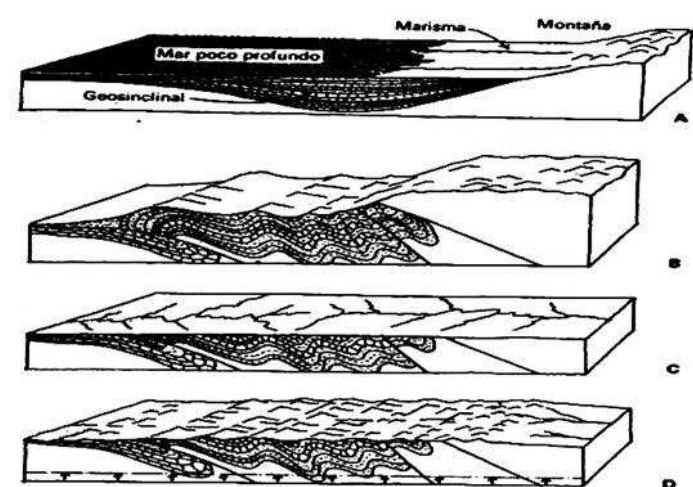
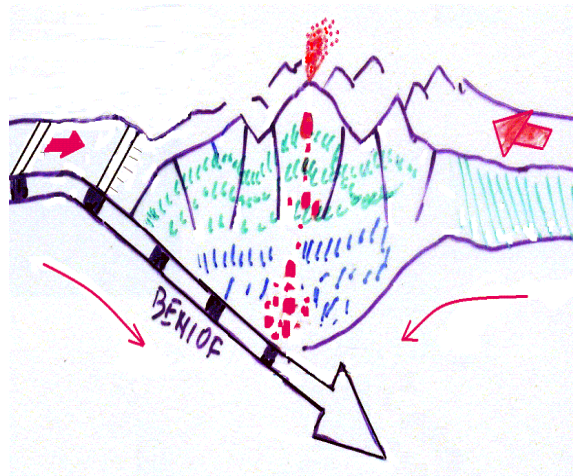
Plutónicos: el 3% del total, con profundidad entre 300 km y 900 km; son los de mayor energía aunque el efecto en superficie es tenue pero extenso; se sienten en una zona tan extensa como la comprendida entre Venezuela y Perú.



- Entre la corteza y el núcleo de la Tierra está el Manto y allí las rocas en estado plástico fluyen en un flujo convectivo. Estos sismos se explican por cambios de fase de las rocas del manto (implosión) o por rupturas en el flujo plástico del manto (explosión).

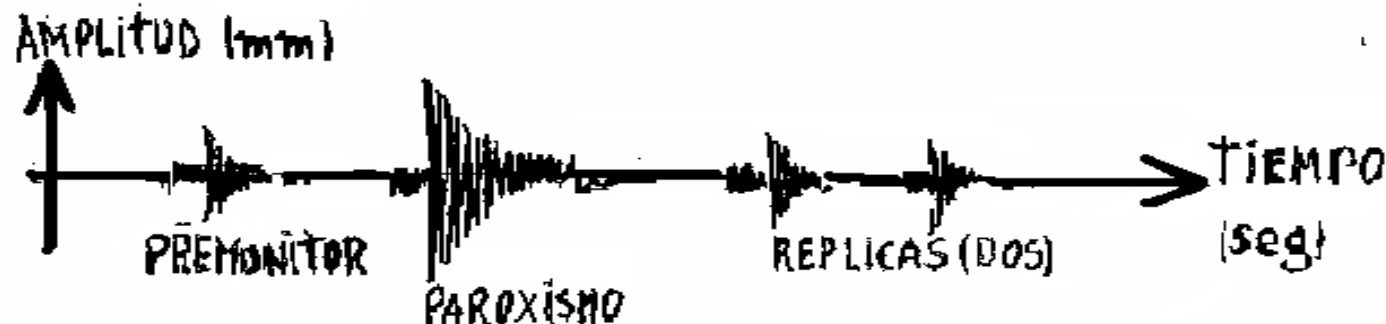
Las clases de sismos II

- **Interplaca:** son el 5% del total, típicos de zonas de subducción y aparecen a una profundidad entre 70 y 300 km. Sus focos van delimitando el plano de Benioff, conformado por las Placas Tectónicas que regresan para fundirse en el manto de la Tierra. Son los segundos en energía, ya que a esta profundidad la Tierra no almacena tanta como en el caso anterior, pero dado su carácter más somero son destructivos; ejemplo Manizales 1979 y 1995.



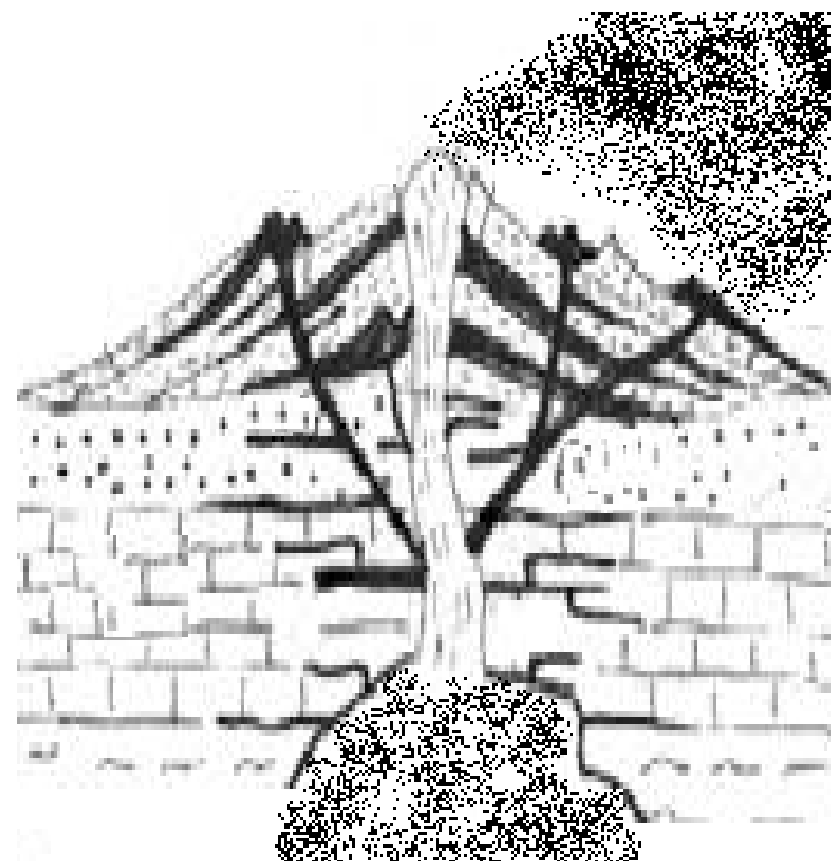
Las clases de sismos III

- **Intraplaca.** Son sismos de fallas geológicas y representan el 85% de los terremotos. Se dan en el interior de las placas tectónicas, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles ya fracturadas (fallas). La corteza es la estructura frágil del planeta.
- Los Intraplaca son los sismos más destructivos, aunque se dan a menos de 70 kms de profundidad, dado que la energía queda concentrada en la superficie donde habitamos, próxima al foco.
- Ejemplo Popayán 1983 y Quindío 1999, dos eventos asociados al Sistema de Fallas Romeral, un mega-trazo que va desde Nariño a Montería. Se distinguen porque tienen múltiples premonitores y réplicas, ya que su ambiente es poco plástico.
- Después de Popayán y Armenia podría ser sectores vecinos a Cali y Manizales. los siguientes eventos.



Las clases de sismos IV

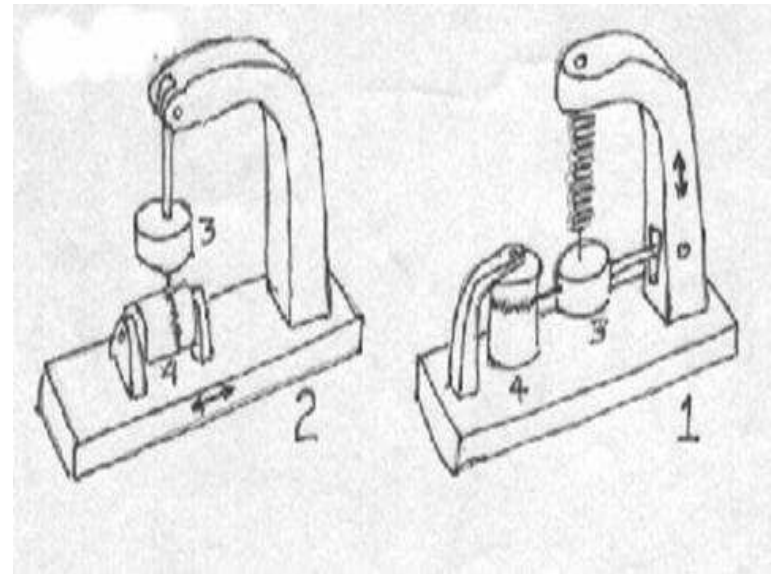
- **Los sismos volcánicos.** Son el 7% de los sismos y se presentan a menos de 20 km de profundidad, entre las cámaras magmáticas y la superficie del volcán, justo cuando el magma se abre paso hacia la superficie. A diferencia de los otros sismos la aureola de daños es de pocos km porque el foco es muy puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera.
- **El ruido sísmico.** Puede ser natural como el producido por mareas terrestres, olas, viento, avalanchas; o artificial como el producido por vehículos en movimiento, bombas, etc.



INSTRUMENTOS DE REGISTRO

- **El Sismógrafo.** Consiste en un péndulo equipado con un freno neumático o magnético para que al ocurrir una sola sacudida no trace varios movimientos en un sismograma. La amplitud y también la coda, permiten calcular la magnitud de un sismo.
- **El Acelerógrafo:** a diferencia del sismógrafo, el péndulo se suspende de un resorte; registra la aceleración del suelo.

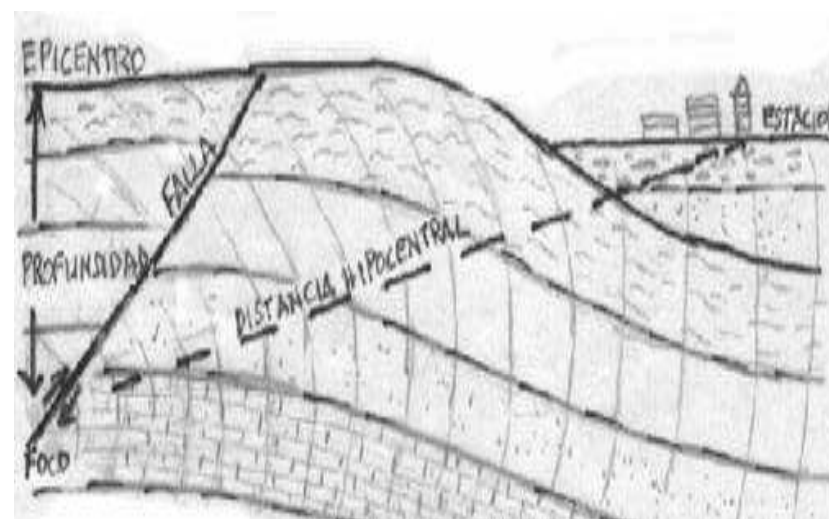
La velocidad y desplazamiento de las partículas del suelo, se obtienen indirectamente del acelerograma.



Esquema de un sismógrafo:
1. sismógrafo para componente vertical,
2. sismógrafo para componente horizontal,
3. péndulo,
4. tambor de registro.

Parámetros De Un Sismo

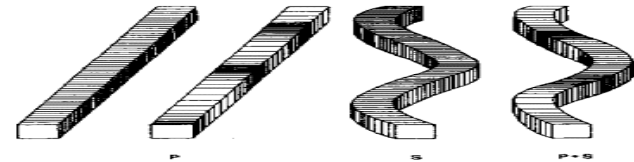
1 Estáticos. La profundidad del sismo, el foco o hipocentro que es lugar del evento, el epicentro que es el lugar de la superficie localizado sobre el anterior, la distancia focal y la epicentral que son la distancia entre la estación en la superficie, e hipocentro y epicentro, respectivamente.



2 Dinámicos. Fecha y hora del evento, la coda o duración de la excitación, la amplitud del movimiento que es el desplazamiento de las partículas del suelo, la intensidad que alude a los daños ocasionados, la magnitud que alude a la energía liberada y que se calcula ya por la amplitud del movimiento o por la coda. La frecuencia o el período varían según la energía de la onda en la estación de registro.

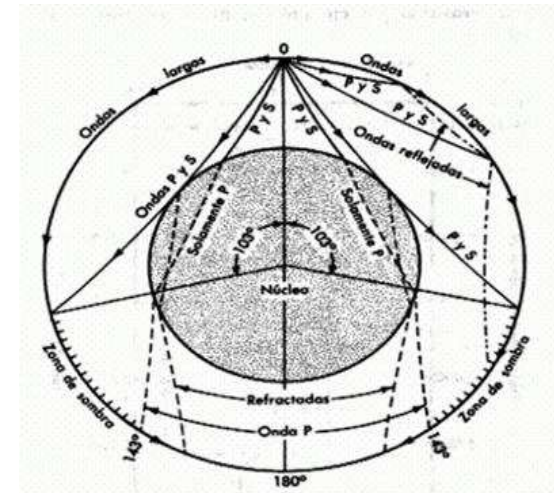
Ondas Sísmicas I

Pueden ser **ondas de cuerpo** o interiores como las P y las S, y **ondas superficiales** como las ondas R y L. Los efectos desastrosos que se producen se llaman sacudidas y cualquiera que sea su intensidad, pueden ser bruscas u ondulatorias: las bruscas se caracterizan por empujes casi verticales, y las ondulatorias, por empujes que se comunican oblicuamente.



Veamos las ondas de cuerpo.

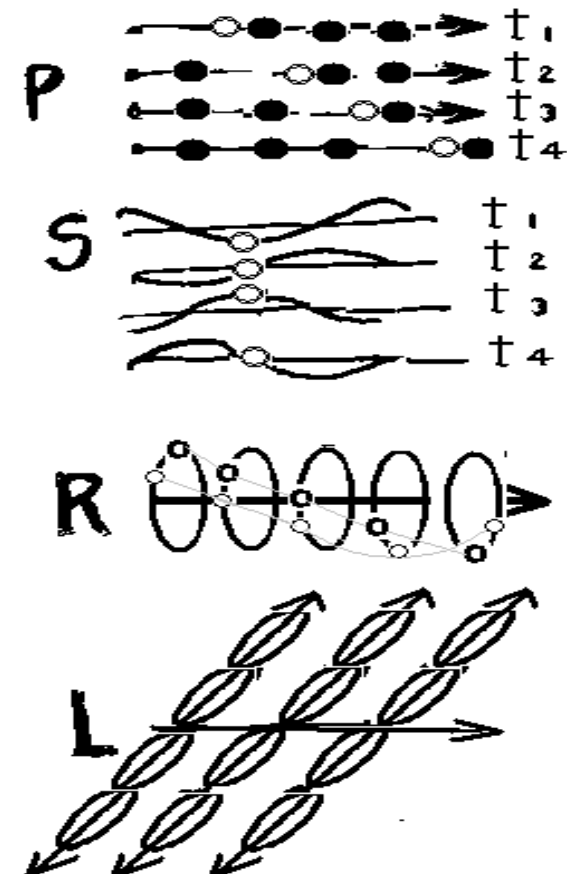
- Las **ondas P** son compresionales y en ellas las partículas se desplazan en la dirección del movimiento; son las ondas más rápidas.
- Las **ondas S** o de cortante, llegan de segundos, y en ellas las partículas se mueven en dirección transversal al movimiento; estas ondas hacen más daños por su mayor amplitud y no se propagan ni cruzan los líquidos.



Ondas Sísmicas II

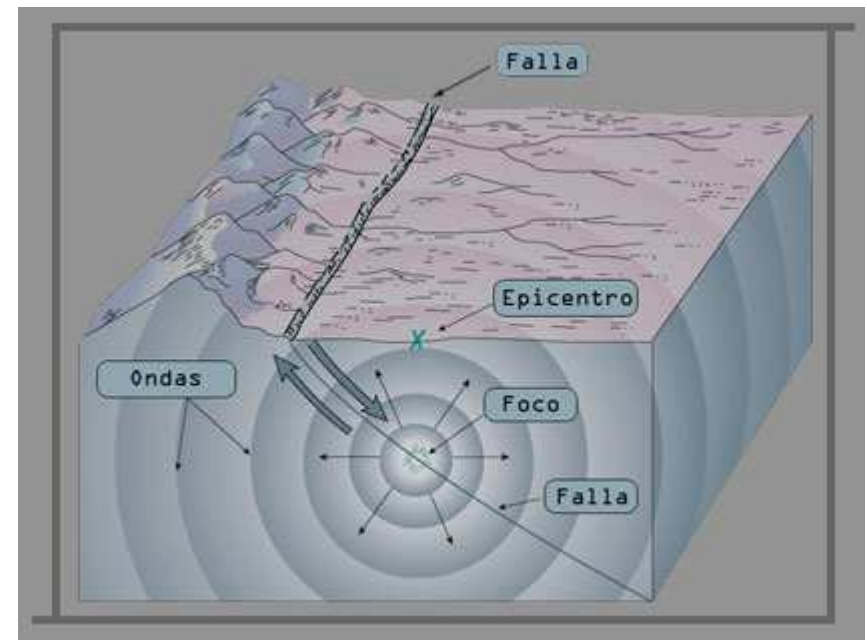
Ahora, veamos las ondas que se generan en superficie.

- **Ondas superficiales:** después de las ondas anteriores llegan las ondas Rayleigh (R) y las Love (L), generadas únicamente por la superficie del suelo o del agua.
- En las **ondas R** las partículas se mueven describiendo elipses dispuestas sobre un plano vertical orientado en la dirección del movimiento; en estas ondas, si el medio es sólido la partícula retrógrada arriba y avanza abajo; si es líquido, lo contrario.
- En las **ondas L** las elipses están en un plano horizontal y avanzan por la superficie de la corteza de la tierra transversalmente a la dirección del movimiento.



Sismos en el medio fluido

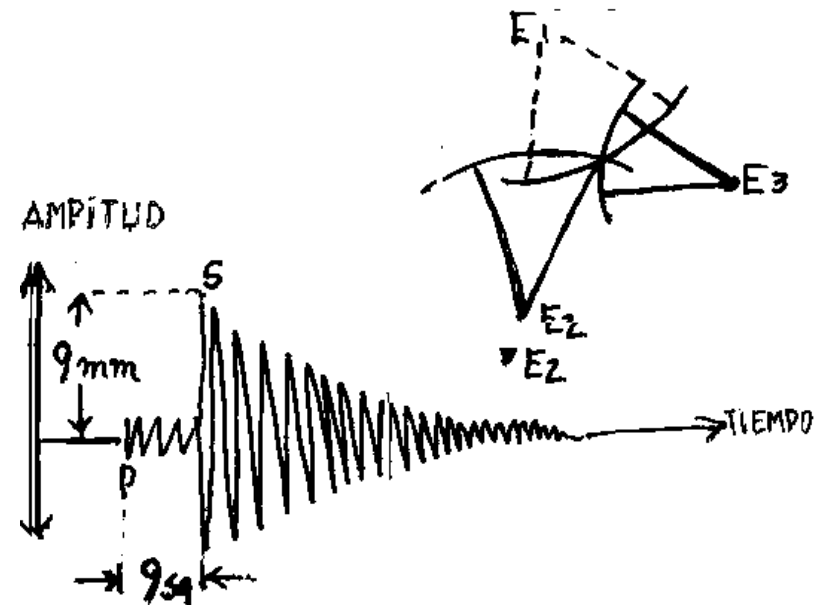
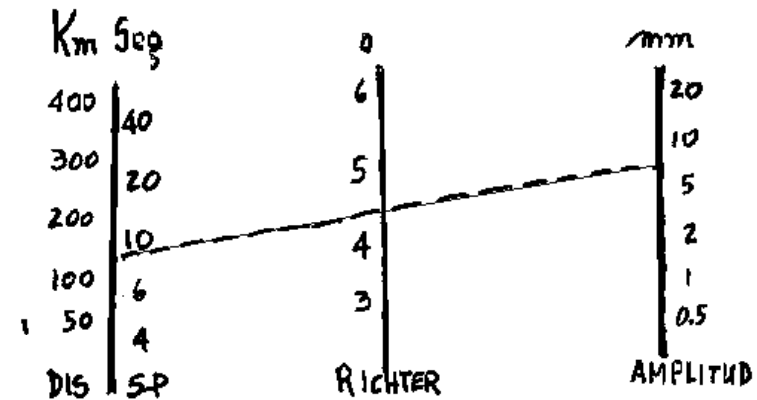
- En un barco se podrá registrar la onda de compresión (P) pero no la onda de cortante (S), de ese sismo.
- También la construcción de embalses sobre fallas geológicas, suele inducir sismos someros de relativa importancia, que generan “seiches”.



Ondas Sísmicas III

El cálculo del **epicentro** se hace triangulando las distancias que se obtienen a partir de la diferencia de tiempos en el registro de las ondas S y P, en tres sismógrafos ubicados en tres ciudades distantes, E1, E2 y E3. Aquí la profundidad del **foco** tiene que ser despreciable.

Obsérvense en el sismograma la diferencia de **amplitud** (9 mm) y de **tiempo de arribo**, entre P y S (9 seg). Ambas variables resultan de importancia para estimar **la magnitud** del sismo en la escala Richter, como se muestra en la figura superior.



La Intensidad Mercalli modificada

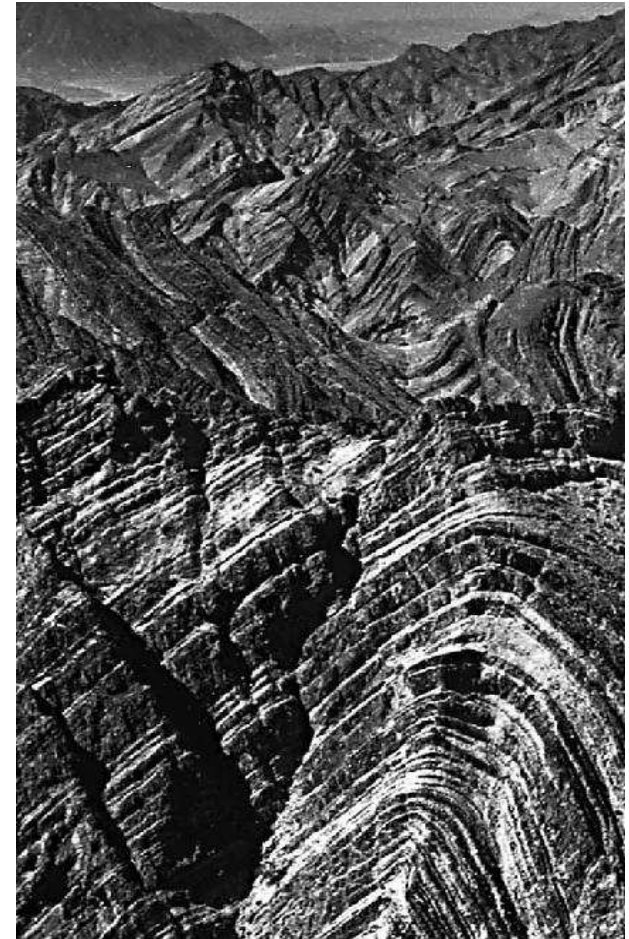
- Alude a **los daños** y depende de la calidad de construcción y tipo de suelo, además de la distancia al foco y de la magnitud del sismo, por lo que un mismo sismo puede mostrar **diferentes intensidades**.
- La **Escala de Intensidades** tiene 12 grados, y algunos de ellos son:
 - I. Sólo lo registran los instrumentos y algunos animales.
 - III. Si sólo se siente en edificios; las lámparas se balancean.
 - VI. Sentido por toda la gente. Caen objetos de la estantería.
 - IX. Produce pánico y daños. Cae mampostería, revienta tuberías, etc..
 - XII. Destrucción total. Es el límite superior de la escala Mercalli.



La Magnitud de Richter

- Depende de **la energía en el foco**, por lo que cada sismo tiene una sola magnitud.
- **Magnitud cero** se da si la amplitud instrumental en un sismógrafo patrón, ubicado a 100 kms del foco, es 10^0 micras, es decir de una micra. Magnitud 3 si es de 10^{+3} micras o sea de 1 milímetro; magnitud -2 si esa magnitud es de 10^{-2} micras.
- **Entre una y otra magnitud**, la energía varía 31.5 veces; entre $m= +5$ y $m= +7$ esta se incrementa $(31.5)^2$ o sea unas 1000 veces, y que es la misma variación para dos grados de diferencia en la magnitud.

Un sismo superficial Magnitud 6, puede hacer mas daños que uno profundo M7, a pesar de tener más energía.



Estudio del Riesgo



Se pueden definir riesgo, amenaza y vulnerabilidad, como conceptos probabilísticos a los que se pueden asociar funciones para facilitar su manejo en términos de pronósticos. La probabilidad será cualitativa si decimos que es alta o baja, o será cuantitativa si le señalamos al evento su frecuencia temporal.

-Riesgo: Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

-Amenaza: Evento o fenómeno perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión:

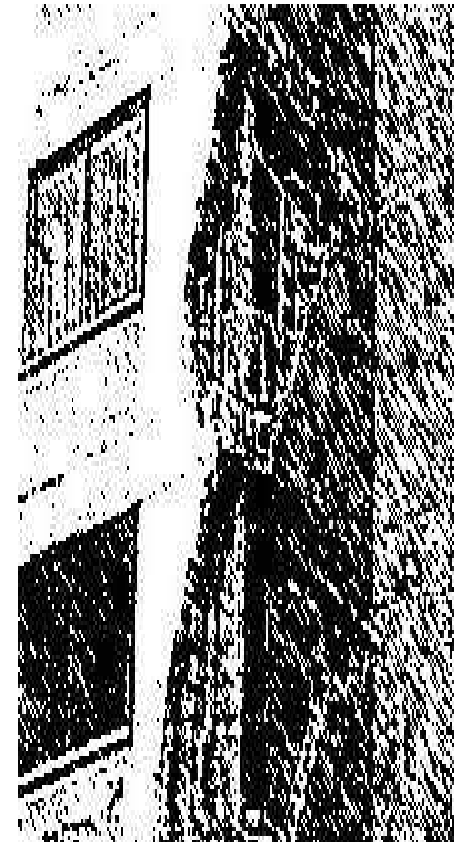
$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Siendo **la vulnerabilidad** el factor de riesgo que tiene en cuenta la resistencia o fragilidad de las personas y de los bienes expuestos. La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica.

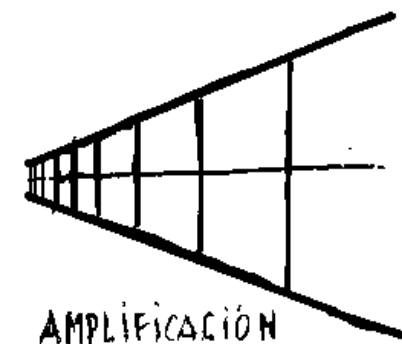
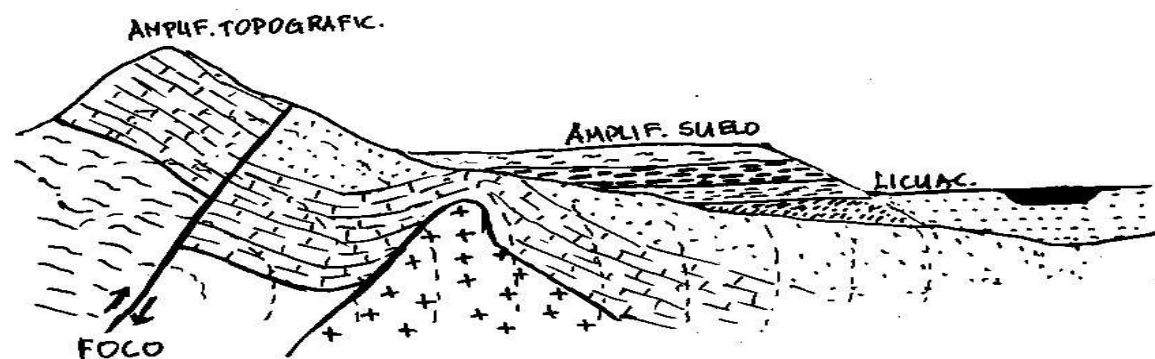
Principales peligros en un terremoto

- **Primer grupo.** Temblor del suelo, asentamientos diferenciales de la estructura, hundimientos del suelo, deslizamientos y avalanchas.
- **Segundo grupo.** Desplazamiento del suelo a lo largo de una falla.
- **Tercer grupo.** Maremotos (Tsunamis) y seiches (oscilaciones en lagos y embalses), inundaciones por daños en embalses y ruptura de diques y conducciones hidráulicas.
- **Cuarto grupo.** Incendios, colapso de estructuras y acabados.

En el riesgo por deslizamientos podemos incidir sobre la amenaza, pero en el riesgo sísmico sólo queda la alternativa de intervenir la vulnerabilidad.



Amplificación Sísmica

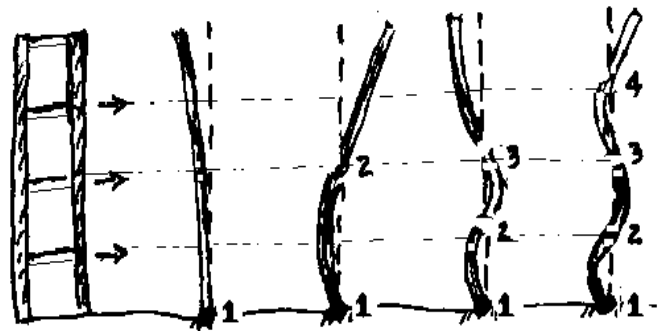


Pero el tipo de suelo y la topografía, modifican la amplitud de las sacudidas. Un frente de ondas **en la roca** suele tener altas frecuencias y en consecuencia alta energía. Cuando las ondas pasan a los depósitos sobreyacentes se amplifican: luego, bajando la frecuencia aumenta la amplitud, pues la energía trata de conservarse.

En **depósitos mal consolidados**, de más de 10 m de espesor, como los rellenos las vegas de los ríos, depósitos de cenizas volcánicas y valles conformados en antiguos lagos, la intensidad del terremoto (E. Mercalli) puede incrementarse en un grado, e incluso otro medio grado más cuando el nivel freático está a menos de 10 metros de profundidad.

Sobre colinas relativamente pronunciadas sobre el relieve, por efectos de esbeltez, la fuerza sísmica puede incrementarse hasta en un 50%.

Fenómeno de resonancia I



4 MODOS DE VIBRACIÓN (4 PISOS)

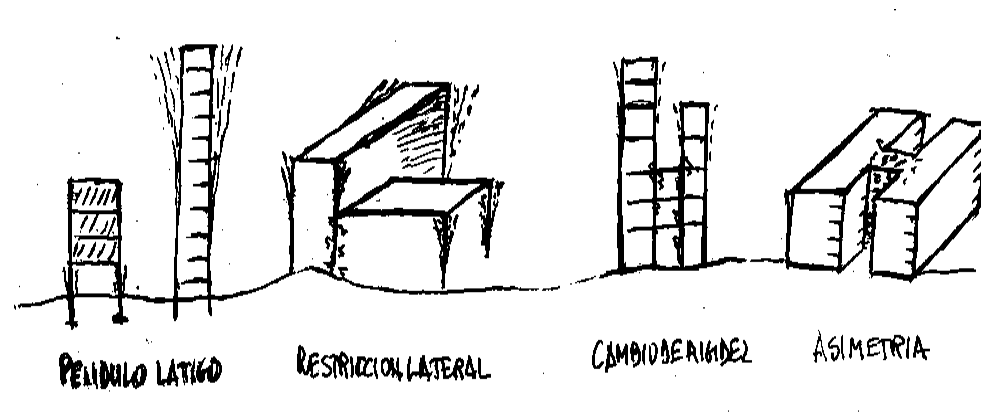
ROCA NORMAL DURA	0.1 Seg	≅	CASA 1 PISO
SUELO SEMI-CONSOL.	0.5 Seg	≅	EDIF. 5 PISOS
DEP MAL CONSOLID.	1.0 Seg	≅	EDIF. 10 PISOS
IDEM Y NAF. SUPERFI.	1.5 Seg	≅	EDIF. 15 PISOS

Las estructuras esbeltas suelen ser flexibles y esto las hace poco viables en suelos blandos. Igualmente otras estructuras poco rígidas como las de bahareque, suelen sufrir mayor daño cuando se construyen sobre sitios de suelos blandos y deformables.

Lo anterior se relaciona con el fenómeno de resonancia, que invita a evitar construcciones con un período fundamental similar al del suelo de cimentación.

Para suelos blandos se recomienda la construcción de estructuras rígidas, como lo son las viviendas de mampostería reforzada de uno o dos pisos. Sobre suelos rocosos resultan convenientes las edificaciones altas.

Fenómeno de resonancia II

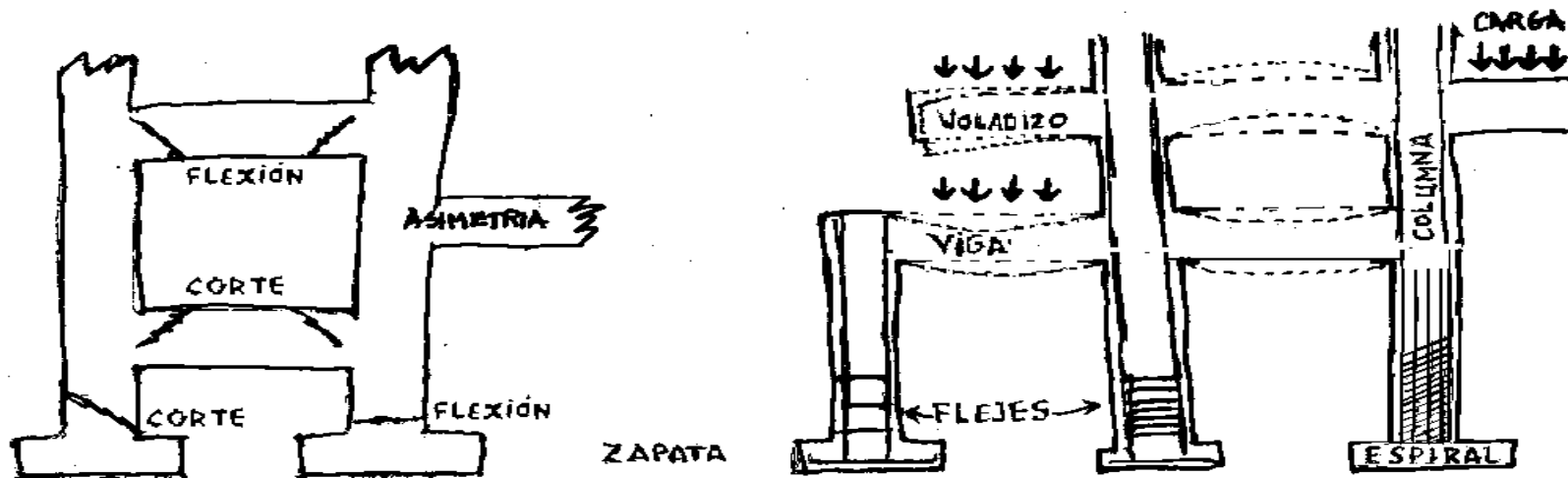


La ingeniería sismorresistente busca, entre otras cosas, que no se presente resonancia; es decir, que la frecuencia natural de la estructura quede desfasada de las frecuencias naturales de los diferentes suelos.

Casas y construcciones bajas suelen tener las mismas frecuencias naturales de las rocas, y las edificaciones esbeltas las mismas frecuencias de los suelos blandos.

Cuando empujamos en un columpio, usamos una cadencia para maximizar la transferencia de energía: así mediante una fuerza pequeña pero de periodo adecuado, se puede conseguir una amplitud de oscilación considerable.

El código de sismorresistencia



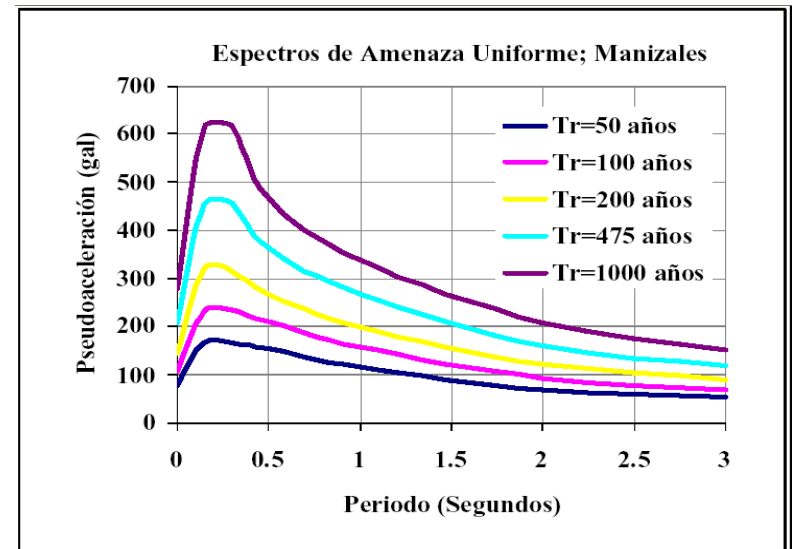
Colombia tiene un Código colombiano de construcciones sismorresistentes, elaborado por la asociación colombiana de ingeniería sísmica y aprobado por decreto 1400 de 1984. Tiene una Red Sísmica Nacional administrada por el Ingeominas y Redes Regionales en el Valle (OSSO) y en el Eje Cafetero-Tolima. También un Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, creado en 1990.

Evacuación por sismo

- Se requiere de una metodología para desarrollar simulacros con base en tres (3) actividades:
- **1- La planeación: motivación** (Convocar informar, discutir, notificar y **solicitar apoyo**), **coordinación** (Comité ejecutivo y brigadas con tareas simples y cronograma), **revisión** (mapa zonificado con amenazas, refugios rutas, etc.) **e implementación** (señalizar y adecuar el escenario y dotarlo de elementos).
- **2- La ejecución: simulacros** (cantidad y fecha, notificar a las autoridades), **desalojo** (sistema de alarma, protocolos y normas) **y respuesta** (Atender las emergencias, inventario de daños, zonas de refugio y de atención pos – desastre).
- **3- La evaluación: análisis** (Organizar, evaluar, corregir e identificar nuevas necesidades), **redacción** (elaborar informe escrito, actualizar) **y difusión** (Discutir internamente, remitir copia del informe, contrastar el Programa).

¿Y cada cuánto y dónde?

- En un año se dan 154 sismos $m = 6$ y 17 $m = 7$; cada tres años y medio hay uno $m = 8.6$; cada 90 años solo uno $m = 9$; Tumaco en 1906, Japón en 1923 y Lisboa en 1755 son los máximos terremotos registrados, todos con una magnitud $m = 8.9$ y un número de víctimas estimadas de 700, 143 mil y 30 mil a 60 mil respectivamente.

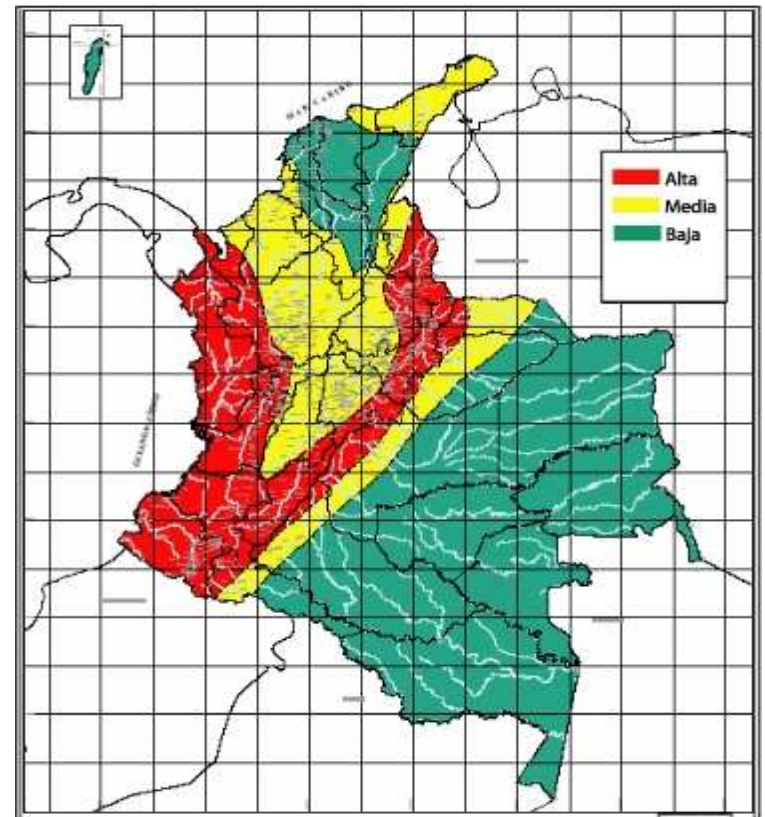


Según la teoría de la brecha se pueden hacer pronósticos buscando sombras sísmicas. Para más allá del 2010 se espera en Caldas otro sismo de magnitud 7, como los de 1962, 1979 y 1995. Estos sismos asociados a la zona de subducción, tienen períodos entre 15 y 20 años en esta región. Arriba, espectros de amenaza uniforme para varios períodos de recurrencia, en Manizales, según CIMOC 2002.

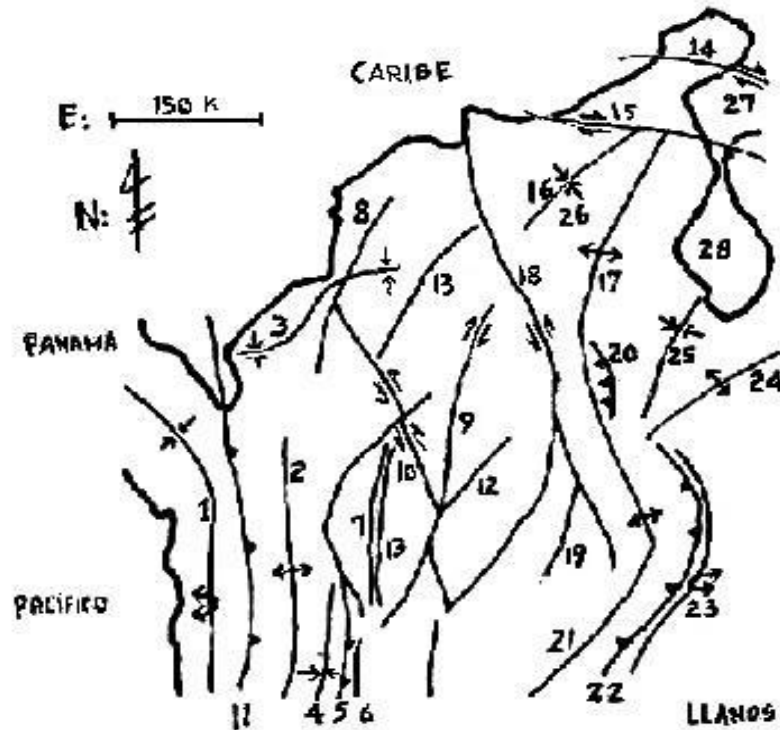
Fuente figura: CIMOC 2002.

Riesgo Sísmico En Colombia

- En Colombia los sismos son frecuentes en la región del pacífico y andina, eventuales en la caribe y escasos en la orinoquía y la amazonia. Casi toda la población del país habita zonas del alto y moderado riesgo sísmico.
- En Colombia los sismos intraplaca son someros e intensos en la región del Pacífico y profundos y menos leves sobre la región andina. Hay singularidades en Riosucio (Chocó) y en la región de Bucaramanga, como también fallas de gran actividad en la joven cordillera Oriental y en otras regiones del país, según lo visto atrás.



Fallas en Colombia



La F. Atrato afecta a Valle del Cauca, Chocó y Antioquia.

La F. Romeral atraviesa Nariño, Cauca, Tolima, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena.

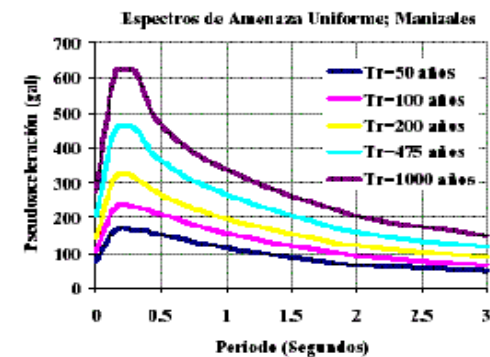
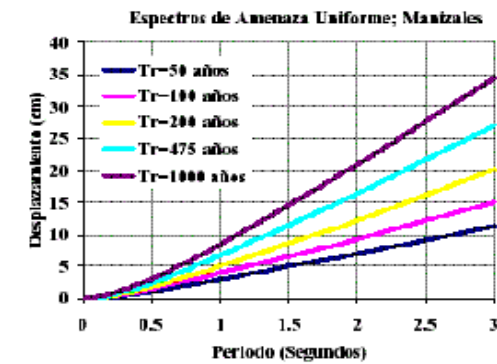
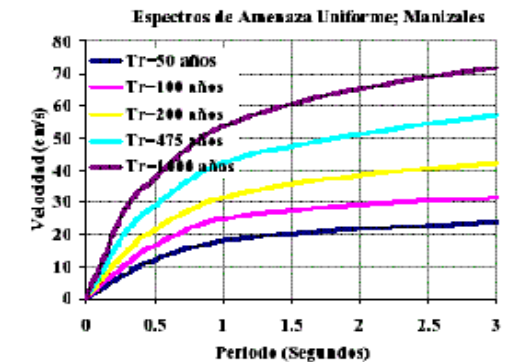
La F. del Cauca recorre Nariño y Cauca.

La K. Palestina cruza Tolima, Caldas, Antioquia y Bolívar.

- La F. Santa Marta-Bucaramanga afecta a los Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Cesar y Magdalena.
- La F. Guaicaramo cruza Meta, Cundinamarca, Boyacá y Arauca.
- También se han registrado sismos en Puerto Carreño, Putumayo y San Andrés.

Amenaza sísmica en el Eje Cafetero

- El Eje Cafetero está en una de las zonas de alto riesgo sísmico.
- Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1985 ponen en evidencia una fuente sísmica generadora de sismos de magnitud cercana a 7 grados, que se ha relacionado con la zona de subducción; pero las fallas del sistema Cauca-Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena son otra fuente sísmica que merece consideración en la región. Como ejemplo, los sismos de Popayán 1983 y Quindío 1999, capaces de producir eventos de magnitud 6, pero de mayor intensidad.
- En la Figura, **Espectros para Manizales:** Espectros de Velocidad, Desplazamiento y Aceleración, para sismos probables con períodos de retorno de 50, 100, 200, 475 y 1000 años. Fuente figura: CIMOC 2002.

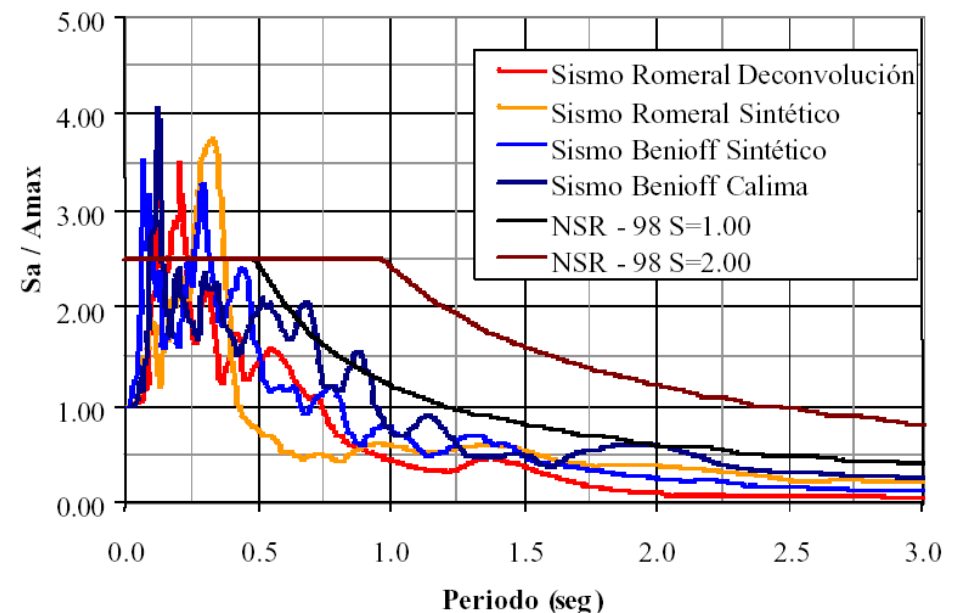


Espectros para la amenaza sísmica

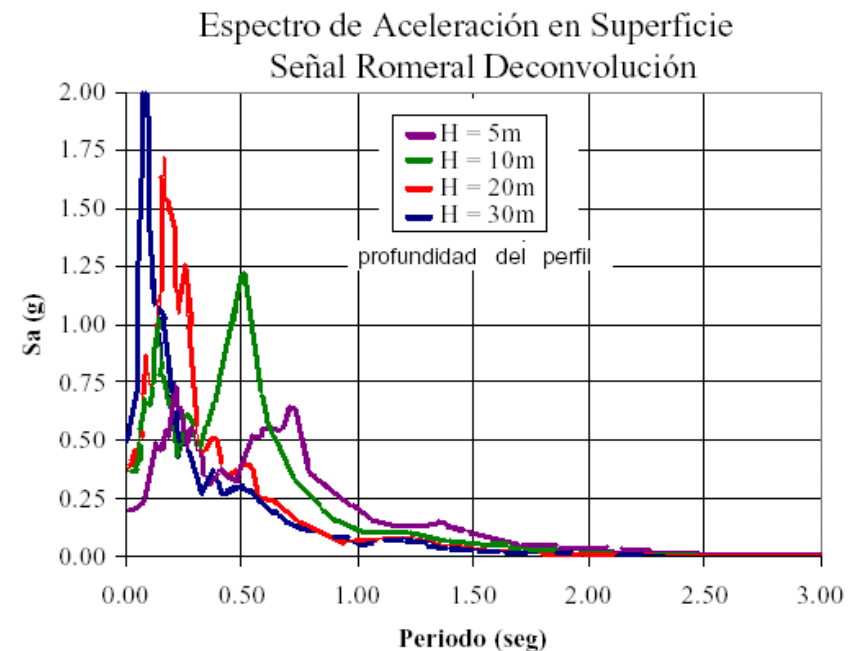
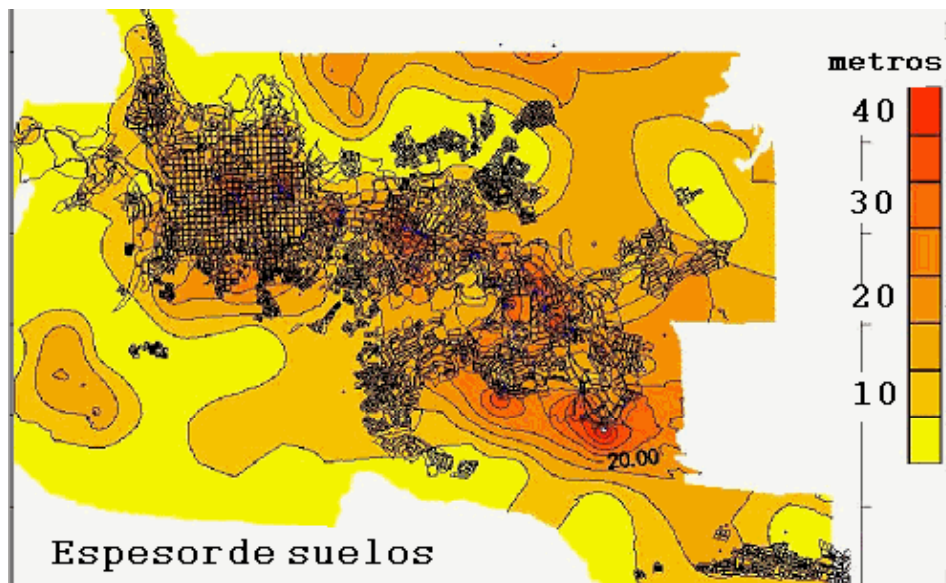
El CIMOC 2002, en el estudio Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales, estimó la fuerza máxima y la duración de la fase intensa de la excitación en el basamento, así:

- **Fuente Romeral**, para una distancia de 20 km y una magnitud de 6,2: la aceleración máxima 0,18 g y duración de la fase intensa 15 seg.
- **Fuentes regionales**, más lejanas y profundas y con sismos magnitud 7,0: aceleración máxima 0,15g y duración de la fase intensa 45 seg. Fuente figura: CIMOC 2002.

Espectros de Aceleración



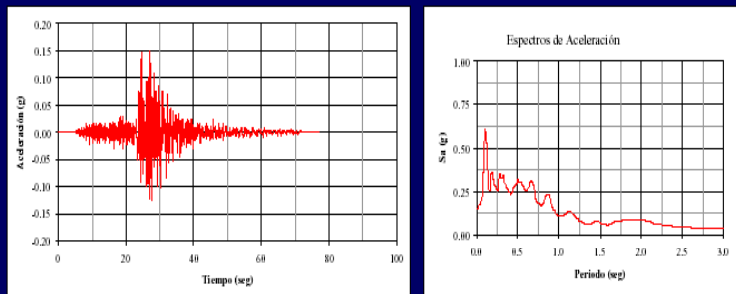
Amenaza sísmica en el Eje Cafetero



- En el terremoto del Quindío (99), la aceleración registrada en Armenia varió desde el 58% hasta el 9% de la gravedad, dependiendo de la clase de suelo. En suelos blandos y saturados fue alta y en depósitos de rocas, baja.
- En la Figura, Espesores de suelos en Manizales y espectros de aceleración esperada en superficie, según los espesores. CIMOC 2000. Fuente figuras: CIMOC 2002.

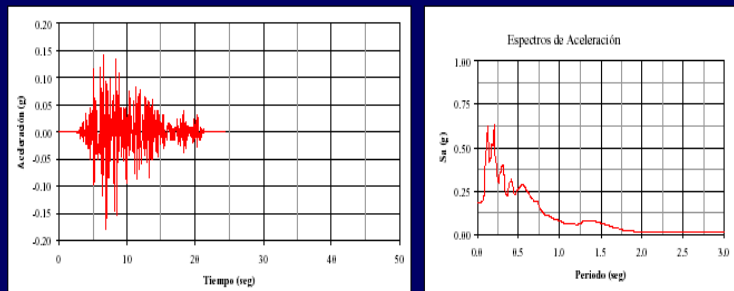
Fuentes sísmicas para Manizales

Benioff Calima



Componente EW sismo Calima (8 de Febrero de 1995) registrado en la estación de Anserma. Escalado a una aceleración máxima de 0.15g

Romeral por Deconvolución

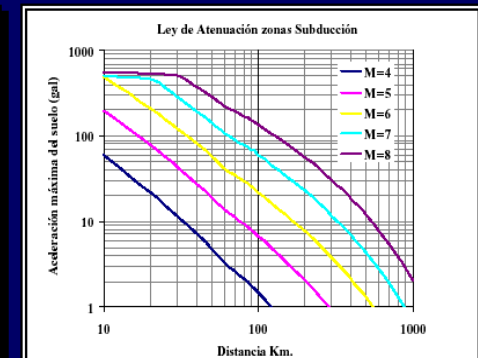
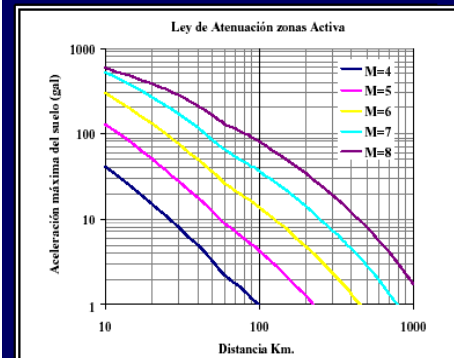


Acelerograma obtenido por deconvolución Escalado a 0.18 g

Leyes de Atenuación

Atenuación de fuentes continentales Activas

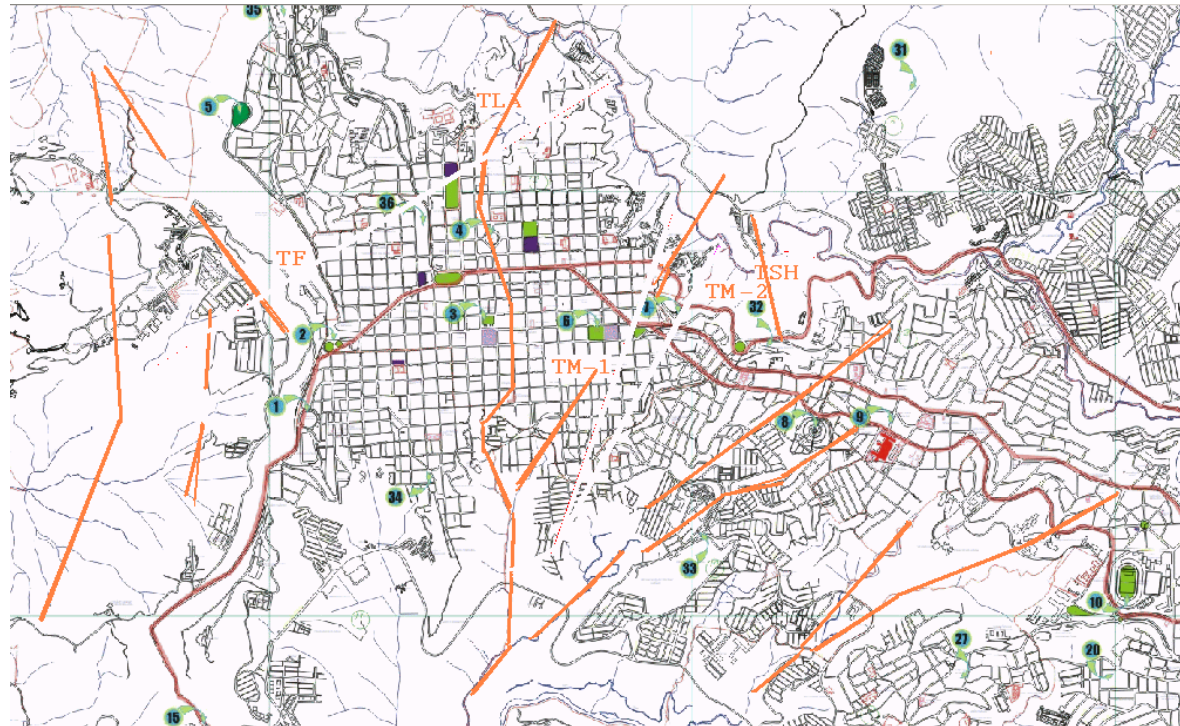
Atenuación de fuentes de la zona de Subducción



- Para Manizales se han considerado dos fuentes sísmicas: zona de subducción y SF Romeral, y se recomienda atender eventos con un período de recurrencia de 475 años. Derecha: sismogramas y espectros de frecuencias; y Arriba: leyes de atenuación. Fuente figura: CÍMOC 2002.

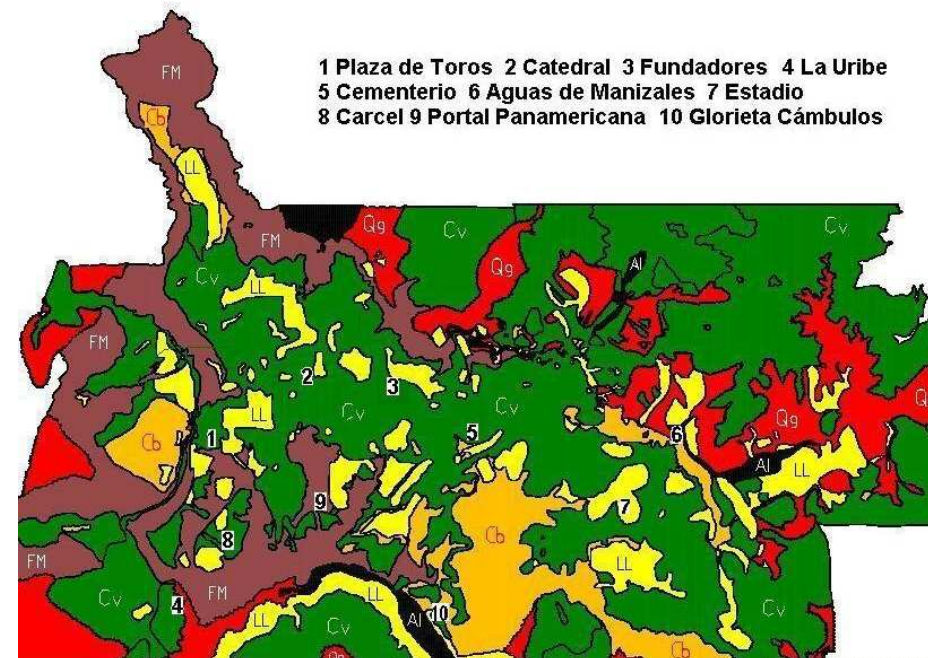
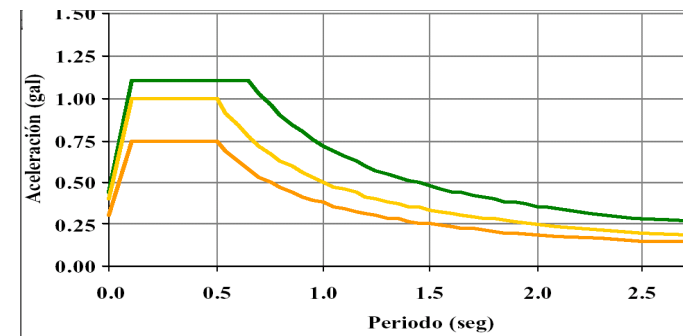
RIESGO SÍSMICO EN UN LUGAR I

- **Estudios geológicos para evaluar el RS.** Tectónica regional, cartografía de fallas capaces en un área de 100 kms de radio. Tipo de fallas. Pruebas en pro y en contra de su actividad. Evidencias en el terreno de asentamientos, inundaciones y deslizamientos conexos. En Manizales existe evidencia de actividad neotectónica. En naranja, lineamientos y fallas de Manizales. INGESAM Ltda, 2006.



RIESGO SÍSMICO EN UN LUGAR II

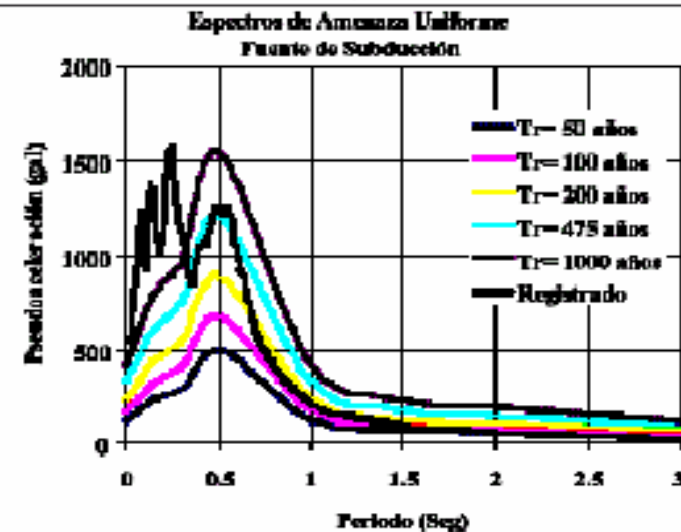
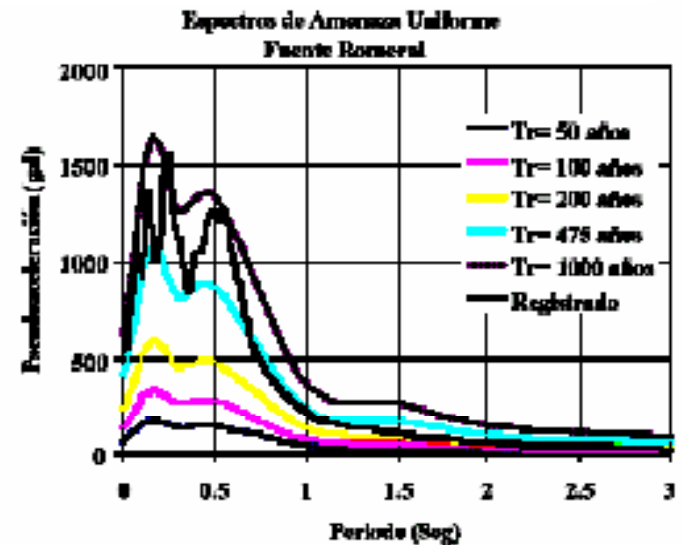
- Ingeniería de suelos.** Informes sobre cimentación y estudios de estabilidad. Tratamiento de la inestabilidad por hundimiento o falla de taludes, parámetros de diseño para movimientos fuertes. Arriba, espectros de diseño para las diferentes zonas de la ciudad de Manizales. Abajo, en amarillo se muestran los rellenos y en verde las cenizas volcánicas de Manizales. El basamento rocoso, en rojo. Fuente Figura: CIMOC 2002.



RIESGO SÍSMICO EN UN LUGAR

III

- **Sismología.** Terremotos históricos locales e intensidades, cartografía de epicentros. Relación intensidad - recurrencia de magnitud. Correlación entre focos sísmicos y fuentes sísmicas. Estimación de futuras intensidades cerca del lugar y con la probabilidad de recurrencia. Selección de registros de movimientos fuertes de terremotos pasados que sean representativos y más probables.
- En las figuras, el espectro del sismo registrado en 1999, y los espectros de aceleración de las dos fuentes para varios períodos de recurrencia. Fuente Figuras: CIMOC 2002.



Lecciones no aprendidas

A causa del sismo del Quindío (1999), en Armenia se estimó necesario demoler 320 edificaciones, y la vía entre Río Verde y Pijao de 14 km quedó literalmente borrada por falla de los taludes de corte. Se perdieron 1185 vidas y las pérdidas sumaron unos U\$ 2000 millones.

Entre las recomendaciones de la comunidad científica que se hizo presente en la fase pos-sísmica previa a la reconstrucción del Eje Cafetero, para el caso del Quindío se recomendó la exclusión de una franja del suelo asociada a una falla geológica activa que cruza el centro de Armenia, como zona apta para la construcción de edificaciones.

Años más adelante, la norma fue excluida del POT por las autoridades de esta ciudad. De esta forma se separan costos y beneficios asociados a la explotación de los recursos: mientras los beneficios de la renta de la tierra se le aseguran propietario del suelo, los costos ambientales se le trasladan a la sociedad en su conjunto.

También el riesgo para el Quindío asociado a la Amenaza volcánica del Volcán el Machín, se excluyó del Plan de Ordenamiento Territorial para no afectar la actividad económica asociada al turismo.

Fuentes I

- BOOTH-FITCH. La inestable Tierra. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- CASQUET-MORALES, Et al. La Tierra planeta vivo. Colección Salvat. España, 1985.
- CIMOC -Alcaldía de Manizales, Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales, 2002.
- DON-LEET. Earthquake. Editorial Dell Publishing. U.S.A. 1964.
- Duque Escobar, Gonzalo. Aspectos geofísicos de los andes en Colombia, en:
<http://www.galeon.com/geomecanica/alturas.htm>
- Duque Escobar, Gonzalo y Duque Escobar Eugenio. Geomecánica de las laderas en Manizales, en <http://www.galeon.com/gonzaloduquee>
- Duque Escobar, Gonzalo. Geotecnia y Medio Ambiente, en:
<http://www.galeon.com/gonzaloduquee/>
- Duque Escobar, Gonzalo. LAS LECCIONES DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ A LOS 20 AÑOS DEL DESASTRE DE ARMERO. En: http://www.geocities.com/gonzaloduquee_00/armero.htm
- Duque Escobar, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros. U.N. de Col. Manizales, 1998.
- Duque Escobar, Gonzalo y Escobar P Carlos E. Mecánica de los Suelos. U.N. de Col. Manizales, 2002. Duque Escobar, Gonzalo. Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. Memorias VII curso internacional sobre microzonificación y su aplicación al planeamiento urbano para la mitigación de desastres. CISMID – JICA. Lima 1995.
- Gonzalo Duque Escobar. Sismo, bahareque y laderas.
<http://www.galeon.com/geologiayastronomia/listado.htm>

Fuentes II

- **Hans Jurgen Meyer y Andrés Velásquez.** Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.
- **ESTEVA, L., RASCON, O y GUTIERREZ, A.** Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America. IV Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica .1969.
- **GRIBBIN, John.** La Tierra en movimiento. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- **GRIBBIN, John.** La Tierra en movimiento. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- **José Luis Naranjo.** Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. Universidad de Caldas. Manizales 2005.
- **Omar Darío Cardona.** Los Desastres No Son Naturales, en: <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- **OPS- Disaster Management Center. University of Wisconsin.** Organización de los servicios de salud para situaciones de desastre. Washington 1975
- **PNUD- Universidad EAFIT.** Programa de prevención sísmica para Medellín: estudio de la amenaza, zonificación, análisis y vulnerabilidad sísmica para Medellín, Medellín, 1994.
- **SARRIA, Alberto.** Ingeniería Sísmica. Ed. Uniandes. Bogotá, 1990.
- **Red Sismológica Regional del Eje Cafetero, Viejo Caldas y Tolima,** ISSN 0123-9074, vol. 6, Número 1, año 2001.
- **TOUSSAINT, Jean Francois.** La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994.
- **Universidad Javeriana- OPS- ACODAL- Ministerio de salud de Colombia.** Seminario Internacional de Manejo Sanitario en Situaciones de Desastre. Melgar .1991.

Otras Fuentes

- AL BAHAREQUE LE FUE MUY BIEN - THE BAHAREQUE MADE IT VERY WELL
- http://gduquees.blogspot.com/2008/01/al-bahareque-le-fue-muy-bien-bahareque_2919.html
-
- ASPECTOS GEOFÍSICOS Y AMENAZAS NATURALES EN LOS ANDES DE COLOMBIA
- <http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1515/1/andes-geofyamn.pdf>
-
- ESCOMBROS A LA ESPERA EN ZONAS SÍSMICAS DENSAMENTE POBLADAS
- <http://godues.spaces.live.com/blog/cns!48eaa3991cdcae9a!1752.entry>
-
- EL QUINDÍO ANTES Y DESPUÉS DEL DESASTRE
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/quindio.pdf>
-
- CONSIDERACIONES SOBRE LA RECONSTRUCCIÓN DEL SUR DEL QUINDÍO
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/reconstruccion.pdf>
-
- GESTIÓN DEL RIESGO NATURAL Y EL CASO DE COLOMBIA.
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/gestion.pdf>
-
- HAITI SIN RESILIENCIA PARA EL DESATRE
- <http://smpmanizales.blogspot.com/2010/01/haiti-sin-resiliencia-para-el-desatre.html>
-
- LA CATÁSTROFE DEL EJE CAFETERO EN UN PAÍS SIN MEMORIA
- <http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/195/1/lacatastrofe.pdf>
-
- MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS Cap15 - SISMOS
- <http://www.galeon.com/manualgeo/geo15.pdf>
-
- MANIZALES NO ESTA PREPARADA PARA UN TERREMOTO
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/terremoto.pdf>
-
- NO HAY MÁS TERREMOTOS, SIMPLEMENTE DESASTRES MÁS GRANDES
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee-00/terre-pred.pdf>
-
- POSIBLE RESPIRO SÍSMICO PARA EL QUINDÍO
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/respiro.pdf>
-
- PREOCUPA RELACIÓN ENTRE PRESA Y TERREMOTO DE CHINA
- <http://godues.blogspot.com/2009/02/preocupa-relacion-entre-presa-y.html>
- PROGRAMA DE SEGURIDAD Y DESALOJO PARA INSTITUCIONES
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/desalojo.pdf>
-
- RIESGO SÍSMICO: LOS TERREMOTOS
- <http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/546/1/sismos.pdf>
-
- SISMO, BAHAREQUE Y LADERAS
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/bahareque.pdf>
-
- ¿SISMO? QUE TAMPOCO CUNDA EL PÁNICO
- <http://godues.blogspot.com/2009/04/sismo-que-tampoco-cunda-el-panico.html>
-
- SISMOS Y VOLCANES EN COLOMBIA
-
- <http://smpmanizales.blogspot.com/2010/05/sismos-y-volcanes-en-colombia.html>
-
- UN TINTO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL EJE CAFETERO
- <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/tinto.pdf>

Muchas Gracias

- * GDE, Director del Museo Interactivo Samoga y del OAM, Profesor Especial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.